

以既有道路網布設都市綠廊道網絡之規劃模式*

羅健文** 林楨家***

論文收件日期：97年2月29日

論文接受日期：97年6月30日

摘 要

自西元1990年代初期，為處理土地使用與運輸路網建設行為所造成都市景觀與生態機能逐漸被破壞的問題，「綠廊道網絡」的理念逐漸在歐美各都市發展且越顯重要。運輸路網雖然是造成景觀碎裂與動物移動阻隔的禍首之一，但亦可以被利用為人工廊道系統進行破碎棲地之縫補，例如以道路網為基礎建構綠廊道網絡系統，來連結都市內的開放空間與公園綠地。據此，本研究以分析階層程序法建構綠廊道網絡應考量之重要因素；再者利用0-1多目標數學規劃方法建立以既有道路網為基礎之都市綠廊道網絡規劃模式，找出哪些路段適合做為綠廊道，以連接都市中之公園綠地，形成完整之綠廊道網絡系統，兼顧土地資源有效之利用與都市景觀生態之改善，並將之實際應用於台北市，利用一階演算法進行模式求解，產生多個替選方案供市政府都市發展、運輸系統與環境景觀規劃等部門進行整合規劃之參考。

關鍵詞：綠廊道網絡、分析階層程序法、0-1多目標數學規劃、一階演算法

* 本文為行政院國家科學委員會補助專題計畫之部分成果(NSC 94-2415-H-305-019)

** 臺北大學都市計劃研究所博士，通訊作者

TEL：(02) 25009749，E-mail：mimiburberry@yahoo.com.tw

*** 臺北大學都市計劃研究所教授

TEL：(02) 25009715，E-mail：jenjia@mail.ntpu.edu.tw

Planning Urban Greenways Along Existing Road Network*

Chien-Wen Lo** and Jen-Jia Lin***

Abstract

Since the beginning of the 1990s, the notion of “greenway network” has been emphasized as a solution for environmental and ecological problems caused by land use and transportation development. Although transportation network is one of the major causes of landscape fragmentation and specie endangerments, it can be used as corridors to connect fragmental patches in urban areas. This research focuses on building a planning model of greenway network which identifies potential greenways based on the existing road networks in urban areas. An analytic hierarchy process was used to select the important factors for modeling. The model was developed as a 0-1 multi-objective programming and was applied to Taipei city. The one-stage algorithm approach was used to solve the model and to generate alternative greenway networks for integrating urban development, transportation system, and landscape planning.

Keywords: Greenway Network, Analytic Hierarchy Process, 0-1 Multi-objective Programming, One-stage Algorithm

* This study was financially supported by the National Science Council in Taiwan
(project no: NSC 94-2415-H-305-019)

** Ph. D., Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University, Corresponding author
TEL : (02) 25009749 , E-mail : mimiburberry@yahoo.com.tw

*** Professor, Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University
TEL : (02) 25009715 , E-mail : jenkins@mail.ntpu.edu.tw

一、前 言

長久以來由於都市規劃過度重視人類活動的需求，致使土地使用、農業機械化與大量的運輸路網興建等行為，造成都市景觀碎裂與生態資源的破壞，為處理此問題，在全球環境永續發展的潮流下，「綠廊道網絡 (greenway network)」的理念逐漸發展且越顯重要，歐美等先進國家皆已經頒布全國性綠網計畫，並大力推動綠化工作 (Furusest and Altman, 1991; Erickson, 2006; Kemp, 2006; Lea, 1990; Searns, 1995)，希望創造出高度適意性的都市環境 (Beatley, 1999; Jongman and Pungetti, 2004)，透過公園、開放空間等綠地之間的連結，來達到生態功能與景觀美學之延續。再者，由於綠廊道網絡擁有複合性的功能，它同時具有生態、娛樂、美學藝術、教育等功能 (Ahern, 1995; Fabos, 1995; Toccolini et al., 2006)，所以綠廊道網絡不僅可提昇環境的品質，亦可提供人類戶外娛樂活動的場所 (Little, 1990)，故綠廊道網絡在日益僵化的都市水泥叢林環境中是極需建立的，如此方可營造出一個人類與自然共存共生的優質都市環境。

綠廊道網絡係為一網絡系統，將綠地資源組成完整的系統關係，並同時具有生態、娛樂、美學藝術、歷史文化廊道等多樣性的功能與設計 (Ahern, 1995; Fabos, 1995; Searns, 1995)，故於都市建立綠廊道網絡系統，可有助於都市環境品質之提升。然而，在都市的人為建設中，運輸路網往往是造成景觀碎裂與動物移動阻隔的重要禍首之一 (ICOET, 2001; Kerley et al., 2002)，運輸路網建設除了消極的避免破壞景觀、保育生態的思維外，應更積極的思考扮演「連結」的角色，故目前有許多國家已開始重視並利用道路進行綠廊道網絡之規劃。根據相關研究發現，綠廊道網絡系統可利用人工廊道系統進行破碎棲地之縫補 (Turner et al., 2001)，例如以道路為基礎建構林蔭大道 (boulevard)、園道 (parkway) 等系統，來連結都市內的開放空間與公園綠地系統 (Turner, 2006; Tan, 2006; Walmsley, 1995; Yu et al., 2006; Ohnishi et al., 1999; Li et al., 2005)。

然而，雖然大多數規劃人員都能接受永續發展必須平衡環境、經濟、社會以及其它重要面向發展的觀念，但許多傳統規劃方法並未因應改變，例如目前運輸規劃僅著重在滿足人類的旅運需求，而忽略了景觀與生態系統的需要。再者，在過去的綠廊道網絡系統的研究中，多著重於網絡系統評估，利用分析方法與評估指標來規劃綠廊道網絡以及評估綠廊道網絡之良莠；在分析方法方面，Linehan et al. (1995)、Bunn et al. (2000)、曾昭恩 (2002)、陳顧淋 (2002)、黃昭雄 (2003) 與黃書偉與陳昱伶 (2003) 利用圖形理論、地理資訊系統、空間自我

相關等分析方法，據以規劃綠廊道網絡；在評估指標方面，Froman（1995）與Cook（2002）站在景觀的觀點評估綠廊道網絡，其建立景觀結構指標（landscape structure indices）評估既有都市綠廊道網絡的好壞，評估內容分為嵌塊體（patch）內容、廊道（corridor）內容、網絡（network）結構三個部分，其中嵌塊體內容是利用嵌塊體形狀指數^{註1}、嵌塊體隔離指數^{註2}與面積來衡量嵌塊體之效益，廊道及網絡結構則利用網絡連接度指標（ γ 指標^{註3}）、網絡環通度指標（ α 指標^{註4}）與網絡複雜度（ β 指標^{註5}）衡量網絡之現況好壞；另外，王小璘與吳慧儀（2000）、游振祥（2001）、吳孟勳（2001）與王小璘與涂芳美（2001）、劉保廷（2004）則是同時考量生態與人類干擾活動角度，擬定綠廊道網絡的評估架構，包括綠廊道網絡的連接度與嵌塊體大小、廊道的寬度、人為活動干擾程度、空氣與噪音污染程度、視覺景觀、交通車流量與車行平均數速率等評估因子，來評估綠廊道網絡的好壞，並提出政策之建議。然而，許多分析方法多持單一目標進行規劃，此往往會受限於規劃者的背景與偏好，使得規劃結果不是系統的最佳方案；此外，評估指標亦只能評判網絡系統之好壞，僅能作為規劃之基礎，但不能據此規劃完整之網絡系統。緣此，在運輸路網與綠廊道網絡之整合方面，必須以能夠找出最佳方案與同時權衡（trade-off）自然與人類兩大向度為目標，以更為確切地落實綠廊道網絡之規劃。

再者，由於都市綠廊道網絡之規劃涉及景觀與交通等層面之規劃，並且同時具有多重目標與準則，故決策必須在諸多互相衝突的目標中進行權衡與取捨，因此本研究同時採用「多準則決策理論（multiple criteria decision making, MCDM）」與「多目標決策理論（multiple objective decision making, MODM）」進行都市綠廊道網絡規劃。其中多準則決策理論一般可區分為具形式的理論（formalized theories）與不具型理論（non-formalized theories），前者乃具有數學的架構或型式，以目前的MCDM發展趨勢而言，大部分屬於具形式的理論（Voogd, 1983; 鄧振源，2005），而權重給與的方式也有許多種，其中較廣泛被應用的即為分析階層程序

註1. 嵌塊體形狀指數 = $\frac{\text{嵌塊體周長}}{2\sqrt{\text{嵌塊體周長} \times \pi}}$

註2. 嵌塊體隔離指數 = 嵌塊體與鄰近嵌塊體距離總和 / 嵌塊體個數。

註3. 為網絡連接度指標， $\gamma = \frac{L}{3(V-2)}$ ，此時L為嵌塊體間連接數，V為嵌塊體數。

註4. 為網絡環通程度指標， $\alpha = \frac{L-V'+1}{2V-5}$ ，參數說明同上，V'為已連接之嵌塊體數。

註5. 為網絡複雜度指標， $\beta = \frac{L}{V}$ ，參數說明同上。

(AHP)法 (Cook and Kress, 1988; Krovak, 1987; Ho, 2008; 鄧振源, 2005)。此外,多目標決策理論 (multiple objective decision making, MODM) 屬於多目標數學規劃 (multiple objective mathematical programming, MOMP) 的範疇 (鄧振源, 2005),其利用數學規劃的技巧,在有限資源及目標衝突的限制下,權衡取捨 (trade-off) 尋求一個較佳的行動方案。若當考慮資源限制時,計畫評估與選擇的決策問題,為在已知許多可行的計畫中,選取某些較有利的計畫加以執行,使有限的資源做有效的運用,並使所要達到多個目標的績效值,此類決策問題屬於多目標選擇問題 (multiple objective project selection problem, MOPS),因為決策變數只有選取或不選取二種情形,因此又屬於0-1多目標整數規劃 (0-1 multi-objective integer programming problem)。近年來已有許多文獻整合AHP與其他規劃方法進行研究 (Ho, 2008; Vaidya and Kumar, 2006),其中包括與數學規劃問題 (mathematical programming) 結合,根據Ho (2008) 整理66篇文獻回顧中,AHP整合數學規劃 (AHP-mathematical programming approach) 的研究即佔了50%,其中有多數文獻應用於路網路線選擇規劃 (Tyagi and Das, 1997; Korpela and Lehmusvaara, 1999; Korpela et al., 2001a; Korpela et al., 2001b; Korpela et al., 2002),故由此可知,AHP整合數學規劃問題 (AHP-mathematical programming) 可作為提供決策者進行決策分析的一項有效分析工具。

職是之故,本研究之目的在以都市既有道路網為基礎,首先以分析階層程序法 (AHP) 建構綠廊道網絡應考量之重要因素;再者利用0-1多目標數學規劃方法,建立都市綠廊道網絡之規劃模式,並產生都市綠廊道網絡布設方案,使綠廊道網絡與運輸路網相輔相成地共存於都市中,並達到都市景觀環境的延續。本文內容分為六個部分:首先在前言界定研究問題,包括研究動機、目的、內容與方法,第二部分說明模式構想,接續在第三部分則進行規劃模式列式,第四段則是介紹求解方法,第五段說明實例應用與敏感度分析討論,最後則是結論與建議的提出。

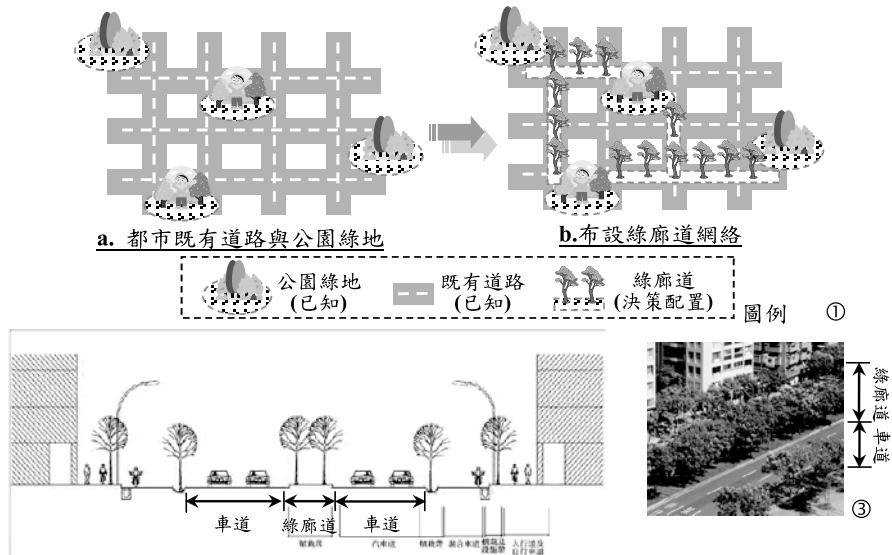
二、模式構想

(一) 問題說明

過去之都市道路及綠廊道規劃往往受限於政策及經濟發展需求之影響,並未考量都市景觀生態向度之需要,致使都市景觀遭受破壞與切割,且既有之綠廊道數量與品質也明顯不足,因此需要系統化且有效之分析工具來輔助規劃者進行規劃,以提升整體之都市生活環境品質。由於本模式目的為都市綠廊道網絡之規劃,且都

市內運輸路網皆已形成，更動路網結構之成本相當大，因此本研究設定在不變動原有道路路網的情形下規劃綠廊道網絡路線，以兼顧土地資源有效之利用與都市景觀生態之改善。緣此，模式之規劃內容與決策事項為「綠廊設置路線」，即為既有道路網中，哪些路段（link）應設計為綠廊道，以連接都市中具有效益之綠地，形成完整之綠廊道網絡系統，如圖一所示，故決策結果為此既有路段配置或不配置綠廊道，屬於0-1整數規劃。此外，若被模式決策為綠廊道之路段，即可建立綠廊連結系統，如樹冠或地下涵洞等方式進行廊道與廊道間、廊道與嵌塊體間之串聯，但其細部設計內容不在本模式中決定，亦即模式僅決定哪些路段應做綠廊設計，以產生最佳的綠廊道網絡系統。

再者，在使用模式前，使用者應已掌握以下條件：一為景觀生態層面，包括具有效益之嵌塊體（都市公園綠地）位置與特性^{註6}、既有之道路綠廊位置、道路與周邊土地使用所會產生的噪音與空氣污染干擾；二為交通運輸層面，包括各綠地間可能作為綠廊的足夠寬度道路以及交通密度與速率；三為經濟成本部份，包括綠廊建設成本與綠廊維護成本。



圖一 規劃內容與模式決策事項示意圖^{註7}

資料來源：①本研究繪製；②內政部營建署（2006）；③台北市政府公園路燈工程管理處（2008）

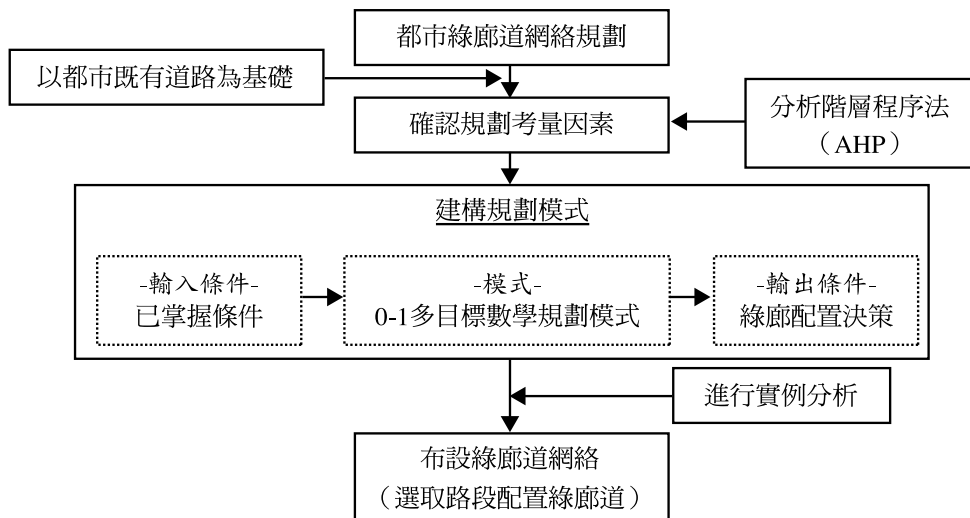
註6. 例如可利用嵌塊體之面積、嵌塊體形狀指數（D指標）與嵌塊體隔離指數（R指標）等景觀結構指標來篩選具有效益之都市公園綠地。

註7. 圖①規劃內容與決策事項，亦即以既有路網為基礎，進行都市綠廊道網絡的規劃，找出何路段適合做為綠廊道，以連接都市中具有效益之綠地，形成完整之綠廊道網絡系統；圖②與③為以既有道路布設綠廊道網絡之示意圖，此供讀者瞭解在既有道路布設綠廊道之概念，但本文不涉及細節尺度的設計問題，例如細部規劃設計與廊道植被種類的選擇。

(二) 問題分析

為進行都市綠廊道網絡之規劃，必須確認其需要考量之重要因素，據以進行規劃模式之建構，其規劃模式之內涵與流程如圖二所示。

由於西元1990年代初期，新自然保護策略（new nature conservation strategies）被提出，而綠廊道網絡的概念在新自然保護策略的架構中，佔有越來越重要的地位（Jongman et al., 2004），且Opdam et al.（2006）亦認為必需將綠廊道網絡之概念與指標納入永續發展的理念中，並經由文獻之回顧（Catharinus and Geert, 2002; Forman et al., 2002; Froman, 1995; Cook, 2002；游振祥，2001；陳彥良，2002；劉保廷，2004；吳孟勳，2001；王小璘與涂芳美，2001；王小璘與吳慧儀，2000），可將都市綠廊道網絡規劃層級結構中的第一層級區分為自然（景觀）、經濟與社會（人類）三大向度，爾後再對上下層級的要素加以確認，而完成層級結構的建立，茲將經由AHP評估結果選取^{註8}後之考量因素說明如表一所示。



圖二 規劃模式內涵與建構流程圖

註8. 本研究僅選取為各考量因素在個別向度內之AHP評估權重排名前一半者。

表一 都市綠廊道網絡規劃層級目標與考量因素

目標	第二層級 (次目標)	第三層級 (考量因素)			
		因素	意涵	與目標關係	
都市綠廊道網絡規劃	自然 (景觀)	廊道寬度	道路綠帶寬度係指道路綠帶兩側間之垂直距離，綠帶寬度會影響人類與物種進行移動遷徙之功能，廊道寬度若達一定之標準，則可提供人類與物種交流與休閒娛樂 (Fabos and Ahern, 1996; Randolph, 2004; Smith and Hellmund, 2006)，且有效綠美化都市景觀。	「正向關係」 亦即若廊道寬度達一定之標準，愈能達到目標。	
			網絡連接度 (connectivity)	γ 指標 ^{註9} 為網絡連接度，若嵌塊體可藉由廊道連結成一系統化的綠網，則可增加人類及物種對公園綠地與綠廊道之可及性。	「正向關係」 亦即網絡連接度愈高，愈能達到目標。
				網絡環通度 (circuitry)	α 指標 ^{註10} 為網絡環通度，環路 (loop) 最大的重要性即在於能為物種與人類提供遷徙與活動路線的選擇，以避免遭受干擾，故環通度愈大能保持便利性。
	自然 (景觀)	網絡複雜度 (complex)	β 指標 ^{註11} 為網絡複雜度，綠廊道網絡若呈閉合且同時具有數個環路的型態時，人類與物種可以在網絡內自由遷徙與交流，故增加網絡複雜度時使用性就會愈高。	「正向關係」 亦即複雜度愈高，愈能達到目標。	

註9. γ 指標之值介於0與1之間，指標數值愈大，表示連接線數愈多，網路連接度就愈高。

註10. α 指標之值介於0與1之間，指標數值愈大，表示網路中存在之環路愈多，則其連接度就愈高。

註11. $\beta < 1$ 時表示節點個數大於連接線數，此時網絡為開放式或有分歧的情形； $\beta = 1$ 時表示節點

目標	第二層級 (次目標)	第三層級 (考量因素)		
		因素	意涵	與目標關係
	經濟	建設成本	指建設綠廊道所花費之成本，以貨幣單位衡量，其衡量單位為「新台幣（萬元）」。	「反向關係」 亦即須控制綠廊道設置成本，愈能達到目標。
		維護成本	指維護綠廊道所花費之成本，以貨幣單位衡量，其衡量單位為「新台幣（萬元/年）」。	「反向關係」 亦即須控制綠廊道維護成本，愈能達到目標。
	社會 ^{註12} (人類)	車行速率	以人類角度而言，在既有道路上設置綠廊道會減少既有道路容量，以致降低車行速率，此時既有道路車輛會重新調整旅行路徑，而增加其它道路的交通量並降低其服務水準。故既有道路車行速率降得愈多，代表對整體道路網的交通影響愈大。而車行速率通常以時速來衡量，其衡量單位為「公里/小時/車道」。	「反向關係」 亦即降低對車行速率的影響，愈能達到目標。
		車輛密度	以景觀生態角度而言，交通密度愈大，其所產生的噪音、污染以及危險亦愈多，對物種及人類健康造成衝擊，其衡量單位為「小客車當量/公里/車道」。	「反向關係」 亦即車輛密度愈低，愈能達到目標。

個數等於連接線數，此時網絡呈現單一環狀系統；而 $\beta > 1$ 時表示節點個數小於連接線數，此時網絡複雜程度較高，可能同時具有數個環路（loop）。

註12. 分為「綠廊道建設對人類之衝擊」與「人類作為對環境之干擾」兩大內涵，使綠廊道設置

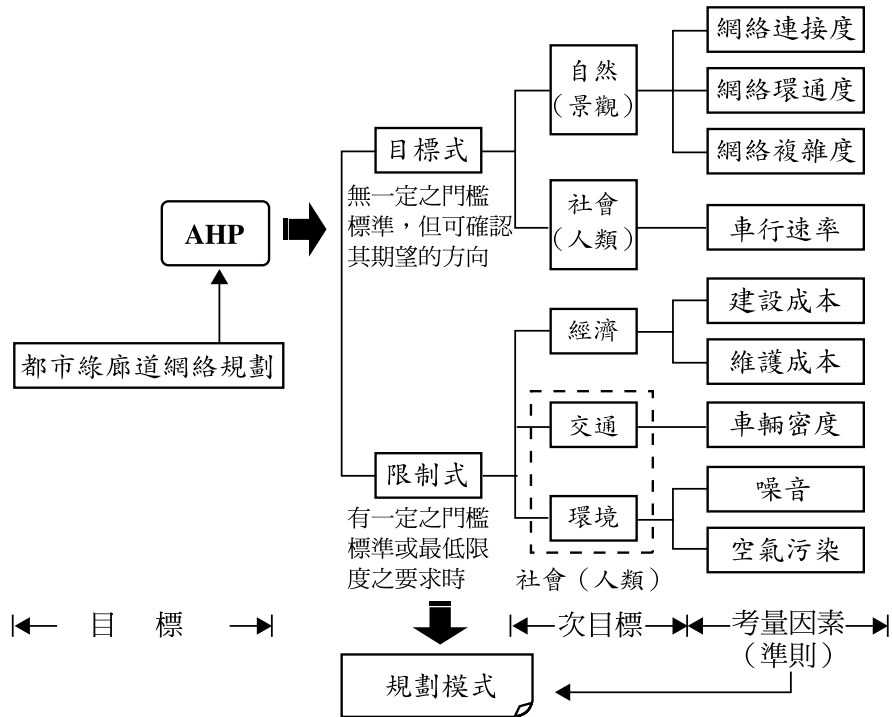
目標	第二層級 (次目標)	第三層級 (考量因素)		
		因素	意涵	與目標關係
都市綠廊道網絡規劃	社會 (人類)	噪音污染	此處所指之噪音為車輛行駛與周邊土地使用所產生之噪音，而噪音之衡量單位為「分貝」，噪音愈大，對物種之干擾亦愈大（ILAR, 1996），故必須降低噪音，以減少對生態之干擾。	「反向關係」 亦即噪音污染愈小，愈能達到目標。
		空氣污染	空氣污染為由車輛與周邊土地使用所排放之污染物，空氣汙染愈嚴重對物種產生之不良影響愈大，而其衡量單位以空氣污染指標5 ^{註13} （PSI）之「ppm」做衡量。	「反向關係」 亦即空氣污染愈小，愈能達到目標。

(三) 模式架構

前述專家問卷調查^{註13}結果如附錄一說明，所篩選出的都市綠廊道網絡規劃考量因子中，若該考量因素無一定之門檻標準，但可確認其期望的方向，則視其為本研究之目標式，共歸結出二項目標：其一為「增加都市綠廊道網絡之效益」，亦即將網絡連接度（ γ 指標）、網絡環通度（ α 指標）與網絡複雜度（ β 指標）最大化，以增加都市綠廊道網絡之效益；其二為「降低綠廊道建設對道路交通之衝擊」，亦即將建立綠廊道後所減少的車輛旅行速率降至最低，使綠廊道之建設對人類的衝擊最小化。另外，若該考量因素有一定之門檻標準或最低限度之要求時，則視其為本研究之限制式，共可歸結出以下幾項限制：「空氣污染」、「噪音」、「車輛密度」、「建設廊道成本」、「維護廊道成本」，模式之目標與限制式之架構如圖三所示。

能夠同時兼顧人類族群及其他物種。

註13. 由於綠廊道網絡規劃須屬於整體都市規劃之層次，故模式之主要使用者為都市規劃專家與規劃師，並且同時涉及景觀、都市與運輸規劃，過程繁複並且需仰賴專業的判斷，故本研究採用專家方法進行AHP分析。



圖三 模式目標式與限制式之示意圖

三、規劃模式

本段首先定義所使用符號，繼而根據模式構想與假設條件進行列式與說明。

(一) 符號定義

模式列式所使用符號定義說明如下，其中 W_1 、 W_2 、 W_3 為附錄一中附表1所示之AHP分析之相對權重結果：

- a：車輛旅行速率與車輛密度關係式之常數項；
- B_C ：表示都市建設綠廊道預算之上限（元）；
- B_R ：表示都市維護綠廊道預算之上限（元/年）；
- b：車輛旅行速率與車輛密度關係式之係數值；
- C_{ij}^B ：具有效益之節點i與j間道路之綠廊建設成本（元）；
- C_{ij}^R ：具有效益之節點i與j間道路之綠廊維護成本（元/年）；
- D_{ij} ：具有效益之節點i與j間道路之車輛密度（小客車當量/公里/車道）；

D_{ij}' ：具有效益之節點i與j間道路建立綠廊道後之車輛密度（小客車/公里/車道）；

D^* ：動物與人類所能承受之車輛密度上限（小客車當量/公里/車道）；

L_{ij} ：具有效益之節點i與j間道路原有車道數（條）；

M ：極大正實數；

S_{ij} ：具有效益之節點i與j間道路之車輛旅行速率（公里/小時/車道）；

S_{ij}' ：具有效益之節點i與j間道路建立綠廊道後之車輛旅行速率（公里/小時/車道）；

ΔS_{ij} ：具有效益之節點i與j間道路建立綠廊道後所減少之車輛旅行速率（公里/小時/車道）；

V ：具有效益之節點數（個）；

W_1 ：表示網絡連結度在自然景觀向度中所佔之相對權重；

W_2 ：表示網絡環通度在自然景觀向度中所佔之相對權重；

W_3 ：表示網絡複雜度在自然景觀向度中所佔之相對權重。

（二）列式與說明

為使建構之模式兼顧理論與實用，並達所設定之研究目的，本研究基於以下假設進行列式：（1）假設規劃地區之指標物種（indicator species）^{註14}為已知，且主要以動物指標物種與人類為規劃標的；（2）若無臨接足夠寬度道路（本研究設定寬度在30公尺以上之道路^{註15}之嵌塊體^{註16}，假設此節點與最近之足夠寬度道路之間可進行細部的廊道連結，而其成本係併入足夠寬度道路綠廊道建設或維護成本中；（3）假設節點間若需經過2條以上之道路方能連結者，其所衡量之噪音、空氣污染、車輛密度以及車輛速率皆以所經過之道路中最高值為主；（4）配置綠廊道之寬度係事先以典型數值作為給定條件，於模式規劃完成後，再於後續依當地條件進行微調。

註14. 在一定地區範圍內能指示其生長環境或某些環境條件的動植物種、屬或群落。有些動植物與特定的生態條件關係非常緊密，人們可以根據這些動植物而正確地判斷其生長地的生態條件。

註15. 由於經文獻整理後發現（詳見注釋18），綠廊道最小設置門檻為5.5公尺，大約佔掉將近2個車道，使既有之道路面積縮小，故必須選擇30公尺之道路，方不致於影響既有道路之交通服務水準。

註16. 嵌塊體(亦稱節點、都市公園綠地)是指經評估後具有效益之綠地，其評估準則可參閱注釋24所示。

1. 目標式

目標一為在自然景觀向度中，若網絡的連接性、環通度以及複雜度愈良好，則對物種交流及人類在休閒娛樂使用上愈為便利，方可提升綠廊道網絡之價值，故模式之第一目標為「最大化綠廊道網絡效益」。綠廊道網絡效益衡量方式包括三項常用之指標，分別為網絡連接度（ γ 指標）、網絡環通度（ α 指標）與網絡複雜度（ β 指標），故必須最大化此三項指標值，以增加綠廊道網絡之效益。這三個指標間具有正向相關性，但各自代表不同的網絡績效意義。假設三個網絡績效間可經由線性相加成為一個整體的績效水準，參考多準則評分方法（multi-criteria scoring methods）中的加權和評分法（weighted scoring methods）、簡單多屬性評點法（simple multi-attribute rating technique; SMART）評估法以及多目標規劃法中的權重法（weighted method）之理念，將三項指標值分別乘上其於景觀生態向度內之相對權重，並進行線性加權加總。本研究在實例分析之權重值係使用前述AHP調查結果經由正規化之權重，其中由於 γ 指標與 α 指標之值分別在0~1之間，但 β 指標之值不會在0~1之間，故本研究對 β 指標進行調整。由於節點數為正整數，且必須大

於3方能形成網絡系統，故V為大於3的正整數，且 $\frac{V-2}{V}$ 恆在0與1之間，而3乘以一個0與1之間之實數，恆會小於3，故可得式（1）關係式：

$$0 \leq \frac{L}{V} \leq 3 \dots\dots\dots (1)$$

式（1）即為 β 指標，可知其指標值在0與3之間，將其值域轉換在0與1之間，如式（2）所示。

$$0 \leq \frac{L}{3V} \leq 1 \dots\dots\dots (2)$$

故目標一轉化後如公式（3）所示所示。

$$\mathbf{Max} \quad W_1 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij}}{3(V-2)} \right) + W_2 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij} - V - 1}{2V - 5} \right) + W_3 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij}}{3V} \right) \dots\dots\dots (3)$$

其中， $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij} = L$ ，故第一項為 γ 指標，第二項為 α 指標，第三項為修改後的 β 指標。

目標二為最小化綠廊道建設對道路交通之衝擊，由於綠廊道設置於道路上會對

既有之交通造成影響，尤其是在設置廊道之後，使既有之道路面積縮小，而對交通產生以下兩部分衝擊：一是短期而言，在行駛車輛數不變的情況下，會降低行車速率，如此會對設置綠廊道之道路服務水準造成負面影響。二是長期而言，設置綠廊道之道路既有交通量會重新調整旅行路線而達到另一個均衡狀況，如此將降低未設綠廊道之道路服務水準。當設置綠廊道之道路服務水準降低愈多，短期與長期的交通衝擊會愈大。因此，期望減少綠廊道建設對道路交通之干擾，亦即期望將建立綠廊道後所減少的車輛旅行速率降至最低，本研究以最小化車輛旅行速率總減少比例為第二個目標如式（4）所示：

$$\text{Min } \sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V \Delta S_{ij} X_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

然而，如何建立 ΔS_{ij} 與綠廊道網絡間的關係？因為在既有道路上建設綠廊道必然會減少車道數，而增加行車密度，也會降低車輛旅行速率，故必須建立車輛密度與旅行速率之關係。假設旅行速率與車輛密度間符合Greenshields模式（Greenshields, 1934），亦即二者間呈反比之線性關係如式（5）所示：

$$S_{ij} = a - b \times D_{ij}, \text{ 其中 } a, b \geq 0 \dots\dots\dots (5)$$

式（5）可依據應用實例所適合的模式而替換函數型態，文獻上較常用的其它模式尚有Greenberg或Underwood等，如Gerlough and Huber（1975）之介紹。由於綠廊道最小設置寬度門檻為5.5公尺^{註17}，大約要佔掉將近2個車道，故建設綠廊道之後的車輛旅行速率估算方式如式（6）所示：

$$S_{ij}' = a - b \times \left[D_{ij} \times \frac{L_{ij}}{L_{ij} - 2} \right] \dots\dots\dots (6)$$

而建設綠廊道前後所減少之速率比例如式（7）所示：

$$\Delta S_{ij} = \frac{S_{ij} - S_{ij}'}{S_{ij}} \dots\dots\dots (7)$$

根據上述旅行速率與車輛密度之關係式可將式（7）轉變為式（8）：

註17. 美國布魯克林的城市規劃設計規定綠帶之寬度最小不得低於16呎（約等於4.9公尺）（Burden, 2004）；Wisloski（2005）指出，綠廊道規劃者堅持綠廊道寬度必須大於18呎（約等於5.5公尺），方能維持綠廊道應有之功能，且Short Elliott Hendrickson Inc.（2002）亦指出，綠廊道的寬度最小不能低於18呎。是故，本研究以綠廊道寬度5.5公尺（18英尺）為門檻。

$$\Delta S_{ij} = \frac{bD_{ij} \left(\frac{L_{ij}}{L_{ij} - 2} \right) - bD_{ij}}{a - bD_{ij}} \dots\dots\dots (8)$$

利用式(8)估計 ΔS_{ij} 參數，代入式(4)成為目標二進行求解。

2. 限制式

(1) 車流密度與噪音、空氣污染之限制

由於都市所造成的噪音、空氣污染與車流密度會對步行於所欲建立之綠廊道中的人類與物種產生干擾與不良影響，故必須加以限制。首先，許多動物能夠接受比人類更寬廣的音域，所以動物之所能承受之噪音污染會較人類為低^{註18}，故以動物之所能承受之噪音污染為門檻，並加以限制以避免影響動物與人類之健康。其次，若氣體或顆粒狀的污染物濃度太高、量太多或毒性太強時，均足以使呼吸器官內正常功能失效或影響其他器官，引發人類或動物的身體不適，且長期影響下有可能產生慢性病變，故必須加以限制。再者，道路車流對在道路綠廊進行遷徙或棲息之物種也會產生視覺上的干擾，故必須加以限制。以上三種影響都與車流密度有關係，當道路服務水準在不堪負荷且擁擠情形嚴重的情形下，此時由車輛所發出之噪音、空氣污染及視覺干擾都會較為嚴重^{註19}，因此，模式之第一項限制式為「建立綠廊道後之車流密度不得超過一定之限制」，如式(10)所示，其中限制門檻值(D*)則端視模式所應用之都市層級與型態進行標準設定。

$$D_{ij} \cdot X_{ij} \leq D^*, i, j \dots\dots\dots (10)$$

(2) 建設綠廊道成本預算之限制

由於在實務規劃時，地方政府往往對於建設綠廊道的成本^{註20}有預算之限制，而綠廊道建設總數愈多，建設成本也愈大，故必須加以限制。緣此，本研究將建設綠廊道成本之預算限制在一定範圍內，如式(11)所示，其中限制門檻值(B_C)則端視模式所應用之都市層級與型態進行標準設定。

$$\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V C_{ij}^C X_{ij} \leq B_C \dots\dots\dots (11)$$

註18. 當動物暴露於85分貝以上之環境時，同時有聽覺與非聽覺之影響，包括紅血球減少、腎上腺素上升、受孕率降低及血壓上升等情形 (ILAR, 1996)。

註19. 本研究以實例分析資料進行分析，發現噪音與空氣污染與車流密度皆成正向關係，故由此可得此結論。

註20. 包括建設綠廊道之整地工程建設、植栽等作為之成本。

(3) 維護綠廊道成本預算之限制

如上所述，地方政府亦往往對於維護綠廊道的成本^{註21}有預算之限制，而綠廊道建設總數愈多，維護成本也愈大，故必須加以限制。緣此，本研究將維護綠廊道成本之預算限制在一定範圍內，如式（12）所示，其中限制門檻值（BR）則端視模式所應用之都市層級與型態進行標準設定。

$$\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V C_{ij}^R X_{ij} \leq B_R \dots\dots\dots (12)$$

(4) 節點連接之限制

由於綠廊道網絡系統強調嵌塊體間之連接度，期望能夠將每個嵌塊體(節點)連結起來，故有每個節點至少要離開一次或每個節點少要進入一次之限制，因此，模式之第四項限制式為「節點連接之限制」，如式（13）～（16）所示。當 $\delta_j = 0$ 時，由式（13）規範節點j必被進入一次，此時式（14）恆成立；當 $\delta_j = 1$ 時，由式（14）規範節點j必離開一次，此時式（13）恆成立。

$$1 - \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq M\delta_j, \forall j \dots\dots\dots (13)$$

$$1 - \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq M(1 - \delta_j), \forall j \dots\dots\dots (14)$$

$$\delta_j \in \{0,1\}, \forall j \dots\dots\dots (15)$$

$$M \text{ 為極大正實數} \dots\dots\dots (16)$$

(5) 設置路線重複選取之限制

為避免重複路線之選取，因此模式之第五項限制式為「設置路線重複選取之限制」，如式（17）所示。

$$(X_{ij} + X_{ji}) \leq 1, \forall i, j \dots\dots\dots (17)$$

(6) 決策變數值域之宣告

本模式之決策變數為綠廊配置路段，使用0-1變數來代表「配置 (=1)」與「不配置 (=0)」二種決策選擇，因此，決策變數值域之限制，如式（18）所示。

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \dots\dots\dots (18)$$

註21. 包括維護路廊道之花木修剪、檢查所栽植之花木品質及其維管狀況等作為之成本。

(三) 模式結構

根據上述模式建構過程之說明，茲將完整的數學規劃模式整理如【P1】所示：

【P1】

$$\text{Max } W_1 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij}}{3(V-2)} \right) + W_2 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij} - V - 1}{2V - 5} \right) + W_3 \left(\frac{\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V X_{ij}}{3V} \right)$$

$$\text{Min } \sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V \Delta S_{ij} X_{ij}$$

Subject to

$$D_{ij} X_{ij} \leq D^*, \forall i, j$$

$$\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V C_{ij}^C X_{ij} \leq B_C$$

$$\sum_{i=1}^V \sum_{j=1}^V C_{ij}^R X_{ij} \leq B_R$$

$$1 - \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq M \delta_j, \forall j$$

$$1 - \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq M (1 - \delta_j), \forall j$$

$$(X_{ij} + X_{ji}) \leq 1, \forall i, j$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j$$

$$\delta_j \in \{0, 1\}, \forall j$$

$$i, j \in \Gamma^+, \forall i, j$$

$$i \neq j$$

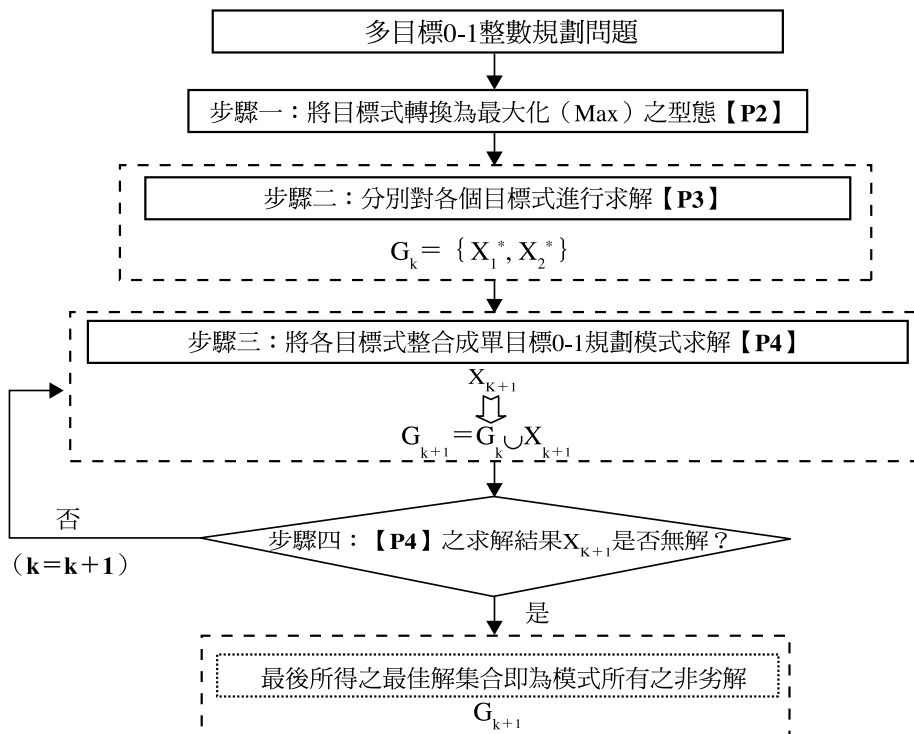
M為極大正實數

四、求解方法—One-stage algorithm

由於【P1】屬於0-1多目標線性規劃（0-1 multi-objective linear programming），而求解0-1多目標線性規劃大致有以下幾項方法，Bitran（1979）所提出鬆弛法（relaxation technique）、Deckro（1983）所使用的內顯窮舉演算法（implicit enumeration algorithm）、模擬退火法（simulated annealing）、禁忌搜尋法（tabu

search) 與折衷規劃法 (compromise programming, CP) 等方法。然而，這些方法大部分都是尋求多目標規劃模式之單一妥協解，但由於0-1多目標線性規劃之結果僅有0 (設置) 或1 (不設置) 的輸出結果，若能為決策者保留較大的決策空間，對實務規劃工作會有較多的正面幫助。

緣此，本研究採用Jahanshahloo et al. (2005) 所提出的一階演算法 (one-stage algorithm) 做為求解方法，此方法可以找出所有0-1多目標線性規劃之非劣解，可以提供規劃者多元的決策空間。以下說明一階演算法求解步驟，其流程如圖四所示。



圖四 一階演算法 (one-stage algorithm) 求解運算流程圖

(一) 目標式須轉換為最大化 (Max) 之型態：

【P2】

$$\text{Max } \{ C_1W, C_2W, \dots, C_SW \}$$

$$\text{s.t } A_iW \leq b_i, i=1, 2, \dots, m$$

$$x_j \in \{ 0,1 \}, j=1, 2, \dots, n$$

$$\text{此時 } C_r = [C_{1r}, C_{2r}, \dots, C_{nr}], r=1, 2; A_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}],$$

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T, X_j \text{ 為 } 0-1 \text{ 決策變數。}$$

(二) 分別對各個目標式分別進行求解

【P3】

$$\text{Max } C_r X$$

$$\text{s.t } A_i X \leq b_i, i=1, 2, \dots, m$$

$$X_j \in \{ 0,1 \}, j=1, 2, \dots, n$$

此時 $r=1, 2$ ，最佳解集合為 $G_k = \{ X_1^*, X_2^* \}$ ；而 X_r^* 為目標式第 r 式之最佳解(optimal solution)。

(三) 將各目標式結合求解

此時將模式中所有目標式相加後成一獨立之目標式，惟由於不同目標式之間的係數值 C_r 所代表之意義各有所不同，直接相加並無意義，故本研究先將各目標式的係數值正規化 (Normalization) 後再相加後成一獨立之目標式，而將原本之目標式帶入步驟二所得之最佳解集合分別列入限制式中如下所示。

【P4】

$$\text{Max } \sum_{r=1}^2 C_r' X$$

$$\text{s.t } A_i X \leq b_i, i=1, 2, \dots, m$$

$$C_r X > C_r X_q^* M t_{rq}, r=1, 2, q=1, 2, \dots, \alpha_k$$

$$t_{rq} \leq 1, \forall q$$

$$x_j^{\pm} \in \{ 0,1 \}, j=1, 2, \dots, n$$

$$t_{rq} \in \{ 0,1 \}, r=1, 2, \dots, \alpha_k$$

此時 $C_r X_q^*$ 為將步驟二所得到的最佳解集合 G_k 中，將第 q 個最佳解帶入 $C_r' X$ 所得之值； M 為極大正實數； t_{rq} 為一 $0-1$ 變數； α_k 為最佳解集合 G_k 的個數。

而求解後所得到之最佳解為 X_{k+1} ，再者將先前所得到之最佳解集合 G_k 與 X_{k+1} 聯

集為一新的最佳解集合 G_{k+1} ，此時 G_{k+1} 定義為 $G_{k+1}=G_k \cup X_{k+1}$ 。

(四) 反覆求解直到所得之最佳解重複或無解為止

若步驟3所得到之最佳解 X_{k+1} 無解時，則可停止求解；若無發生前述之情形，則必須另 $k=k+1$ 反覆求解直到無解為止。

(五) 最後所得之最佳解集合即為模式所有之非劣解

經過模式之反覆求解後所得之最佳解集合，此時最後所得之最佳解集合 G_k 定義為 $G_k=G_0 \cup A_k$ ， G_k 即為模式所有之非劣解集合。

五、實例研究

基於本模式適用於已發展地區與資料取得完整性之考量下，本段針對台北市基隆河以南之行政區^{註22}，進行實例分析，繼而進行敏感度分析，以確認所建構模式應用於實務上之可行性，且其分析結果可供台北市政府進行綠廊道網絡規劃之參考。

(一) 問題說明

本研究以台北市基隆河以南之行政區為規劃範圍，包括松山區、大同區、信義區、萬華區、大安區、中山區、南港區、中正區與文山區等九行政區，且此實例研究為靜態規劃過程，屬於橫斷面規劃分析，故以民國96年訂為研究之基年，而以「台北市都市景觀中長程建設計畫」之計畫目標年—民國100年作為規劃目標年。

依據本研究評估規劃範圍內具有效益^{註23}之綠地計有36處^{註24}，但由於有些公園

註22. 由於台北市基隆河以北之行政區(北投區、士林區與內湖區)國家公園與保護區佔地面積大，互相連結可自成一綠廊道網絡系統，且公園綠地較少而分散，故排除於本研究之規劃。

註23. 綠地之面積大小會顯著地影響生態過程與休閒遊憩品質，它是綠地最主要特性(Collinge, 1996)，亦即綠地面積的規模通常與活動、內部資源的多寡呈現某種關係存在(黃昭雄, 2003)。根據Sodhi et al. (1999) 研究發現，都市綠地面積必須在1~2公頃以上，方能提供鳥類多樣性地生長；日本以鳥類研究對象之研究發現，有1公頃以上植生良好的綠地才有密林性鳥類的出現(蔡佩真, 1994)，再者，林利貞(1998)與陳恆安(1994)指出都市公園面積至少大於1.5公頃，才能維持生物的多樣性與提供良好的休閒環境；王智聖(2002)亦提出1公頃以下的都市公園綠地將無法提供生物安全棲息與休閒遊憩之的空間。由於都市的綠地中，往往含有非綠地的人工設施，是故，本研究採取面積1.5公頃為門檻，超過此門檻者方被視為有機會提供良好的生物棲地與休閒遊憩空間。

註24. 分別為圓山公園、美術公園、民族公園、新生公園、濱江公園、大佳河濱公園、迎風河濱

地處鄰近，且無跨越具有綠廊道潛力之道路^{註25}，故本研究於實例分析時，將地處鄰近之公園視為一個大嵌塊體進行分析，並假設其可由替代道路進行連結，而可合併之公園包括美術公園與民族公園、新生公園與濱江公園、大佳與迎風與觀山河濱公園、南港保護區與四獸山市民森林、文山保護區1與動物園公園、馬場町紀念公園與雙園與華江雁鴨自然公園與龍山河濱公園，合併之後的總嵌塊體數計有27處，其分佈情形如圖五所示。

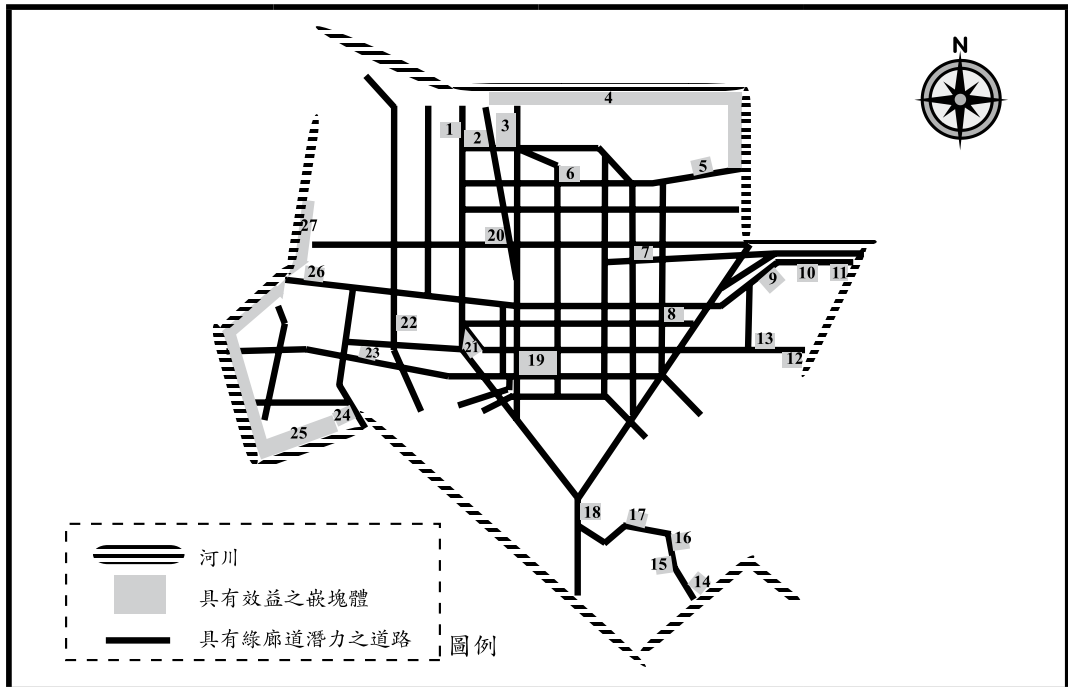
各參數之估計說明如下：

1. 目標式

目標式一之三個相對權重值 (W_1 、 W_2 、 W_3) 使用如附錄一中附表一之AHP分析結果，至於總嵌塊體數 (V)，係根據上述實例空間範圍界定後，可得知目前台北市基隆河以南具有效益之總嵌塊體數為27個 (已合併過)。而目標式二分為三部分，車道數 (L_{ij}) 經由實地量測後，各嵌塊體間可能直接連結道路之車道數詳如附錄二所示；第二部分為車輛密度 (D_{ij})，根據台北市政府交通局交通管制工程處 (2005) 所進行之交通流量統計資料，其數據詳如附錄二所示；第三部分為建立綠廊道後所減少之車輛旅行速率 (ΔS_{ij})，根據中華智慧型運輸系統協會 (2001) 對各路段所調查行車速率與台北市政府交通局交通管制工程處 (2005) 所調查交通流量資料，校估式 (5) 之參數 $a=42.95$ ， $b=1.13$ ，並使用式 (8) 估計 ΔS_{ij} ，數據詳如附錄二所示。

公園、觀山河濱公園、三民公園、榮星公園、台北體育場、中山公園、玉成公園、南港公園、胡適公園、南港保護區、四獸山市民森林、中強公園、文山保護區1、動物園公園、文山保護區2、文山保護區3、興泰21號公園、文山保護區4、大安森林公園、林森公園、中正紀念堂公園、二二八紀念公園、植物園公園、青年公園、馬場町紀念公園、雙園河濱公園、華江雁鴨自然公園、龍山河濱公園、玉泉公園、延平河濱公園。

註25. 由於綠廊道最小之寬度為5.5公尺，本研究為使交通流量衝擊最小化，故選擇道路寬度為30公尺以上之路段，作為具有潛力之生態廊道，以建構台北市完整之綠廊道網絡系統，台北市基隆河以南具有綠廊道潛力之道路分別為八德路3~4段、中華路、仁愛路2~3段、民生西路、民生東路、民族東路、民權西路、民權東路、光復北路、光復南路、西園路、西藏路、辛亥路1段、辛亥路3段、和平西路、和平東路、忠孝西路、忠孝東路、承德路1~5段、松江路、松勇路、松隆路、信義路、南京西路、南京東路、建國北路、建國南路、重慶北路、重慶南路、師大路、基隆路、愛國東路、新生北路、新生南路、新光路2~3段、興隆路、羅斯福路。



1. 圓山公園	8. 中山公園	15. 文山保護區2	22. 二二八紀念公園
2. 美術公園 + 民族公園	9. 玉成公園	16. 文山保護區3	23. 植物園公園
3. 新生公園 + 濱江公園	10. 南港公園	17. 興泰21號公園	24. 青年公園
4. 大佳 + 迎風 + 觀山河濱公園	11. 胡適公園	18. 文山保護區4	25. 馬場町紀念公園 + 雙園河濱公園 + 華江雁鴨自然公園 + 龍山河濱公園
5. 三民公園	12. 南港保護區 + 四獸山	19. 大安森林公園	26. 玉泉公園
6. 榮星公園	13. 中強公園	20. 林森公園	27. 延平河濱公園
7. 台北市立體育場	14. 動物園公園 + 文山保護區1	21. 中正紀念堂公園	

圖五 台北市基隆河以南具有效益之綠地與具有綠廊潛力道路之分佈圖

2. 限制式

首先在車輛密度限制 (D*) 方面，市區道路服務水準原以車輛速率來規範，但由於車輛速率為人類行駛車輛的流暢程度，對於動物較無影響；而車輛密度的高低，則會影響道路之壅塞程度，若此道路之車輛密度高，則此時此路段由車輛所發

出之噪音（停車時之引擎聲與喇叭聲等）、空氣污染以及視覺干擾都會較為嚴重，對在道路旁綠廊進行遷徙或棲息之人類及物種會產生干擾，故本研究依據台灣地區公路容量手冊（交通部運輸研究所，2001），利用校估之式（5）將市區道路之速率服務水準轉換為密度服務水準^{註26}。再者，市區幹道服務水準以密度^{註27}來區分，若道路服務水準在D級以下，則會產生不堪負荷且擁擠情形嚴重的情形，故本研究將建設綠廊道後之車輛密度限制設定為23.70（小客車當量/公里）。

在建設成本（ C_{ij}^C ）與維護成本（ C_{ij}^R ）方面，根據「綠之網—建國南北路綠軸實質空間規劃設計案」（環藝工程顧問有限公司，2004）所估算之綠廊建設費用為208（萬元/百公尺）^{註28}，綠廊道之維護費用為600（元/百公尺）^{註29}，故本研究依據此標準換算每嵌塊體間之綠廊道建設與維護費用，其換算結果如附錄二所示。此外，根據台北市政府主計處（2005）所發佈之「臺北市地方總預算歲出機關別預算表」，得知台北市綠美化建設成本總計為4（億元/年），其中包括「公園及綠化工程」項目為3.2（億元/年）與「樹苗及花卉培育」項目為0.8（億元/年）。再者，由於台北市都市景觀中長程建設計畫（中華民國景觀學會，2003）之計畫目標年—民國100年為本研究之規劃目標年，而以民國96年訂為研究之基年，故將施工年期4年折現後可得台北市政府建設綠廊道之總預算上限（ B_C ）為14.8（億元）。此外，亦得知台北市綠美化維護成本總計為2（億元/年），包括綠地及行道樹維護項目，故本研究將台北市政府每年維護綠廊道之預算上限（ B_R ）訂為2（億元）。

（二）規劃結果

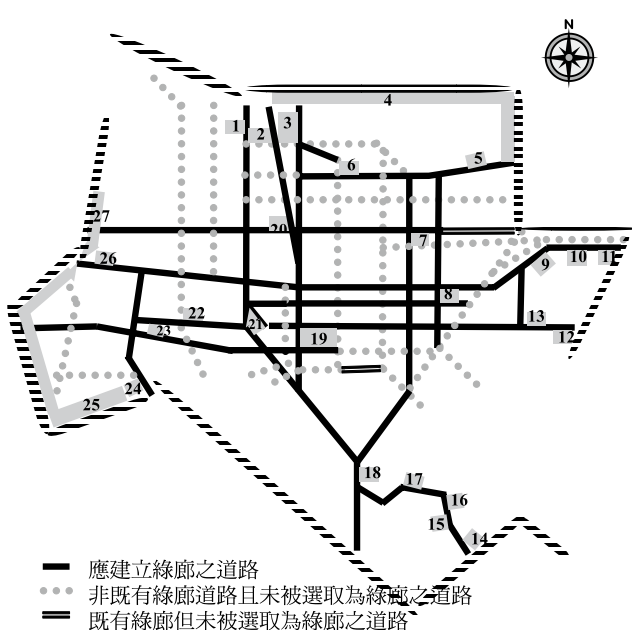
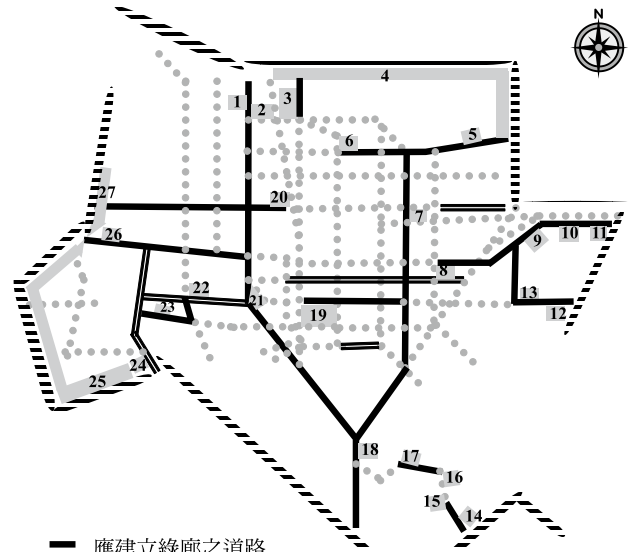
根據上述之參數資料，進行台北市基隆河以南之綠廊道網絡規劃，結果如圖六所示。

註26. 本研究根據中華智慧型運輸系統協會（2001）對各路段所統計之車輛速率，與台北市政府交通局交通管制工程處（2005）所進行之交通流量統計資料，來校估台北市車輛速率與密度之關係式，得到 $S = 42.95 - 1.13D$ 之關係式，並用以換算成市區交通車輛密度之服務水準。

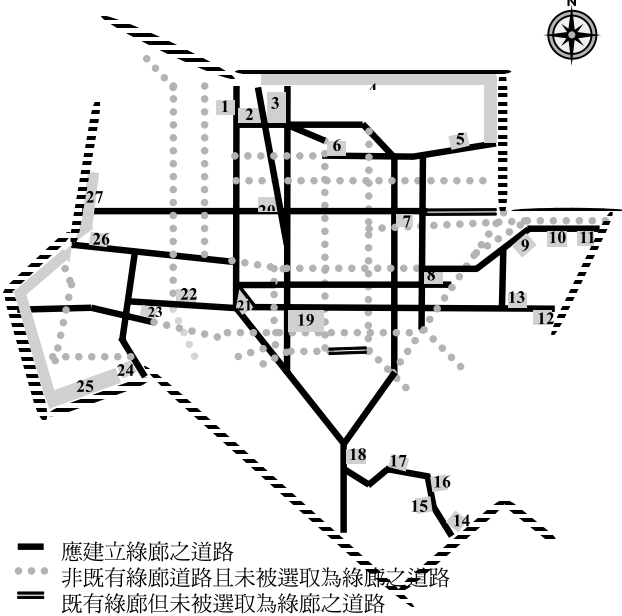
註27. 其中A級為 $D \leq 4.16$ ，交通情形為「道路足堪負荷，車流平穩」；B級為 $4.16 < D \leq 13.36$ ，交通情形為「道路足堪負荷，不致擁擠」；C級為 $13.36 < D \leq 19.10$ ，交通情形為「道路足堪負荷，但已擁擠不便」；D級為 $19.10 < D \leq 23.70$ ，交通情形為「道路不堪負荷，擁擠情形嚴重」；E級為 $23.70 < D \leq 30.60$ ，交通情形為「道路不堪負荷，擁擠情形惡化」；F級為 $D > 30.60$ ，交通情形為「道路不堪負荷，車輛無法通行」，其中D代表道路之車輛密度。

註28. 包括「原有安全島拆除與建築」項目為10（萬元/百公尺）與「植栽」項目為198（萬元/百公尺）。

註29. 其中包括澆水、施肥及病蟲害防治等項目。

結 果	應建立綠廊道路
<p>方案一</p>  <p> — 應建立綠廊之道路 非既有綠廊道路且未被選取為綠廊之道路 == 既有綠廊但未被選取為綠廊之道路 </p>	<p> 中山北路1~3段（既有綠廊） 中山南路 羅斯福路1~5段 興隆路1~4段 新生北路1~3段 新生南路1~3段 松江路 敦化北路（既有綠廊） 敦化南路（既有綠廊） 光復北路 光復南路 松勇路 建國北路3段 民權東路3~5段 南京西路 南京東路1~4段 忠孝西路1~2段 忠孝東路1~6段 仁愛路1~4段（3~4段為既有綠廊） 信義路1~5段 愛國西路（既有綠廊） 和平東路1段 和平西路1~3段 中華路（既有綠廊） 基隆路3段 </p>
<p>方案二</p>  <p> — 應建立綠廊之道路 非既有綠廊道路且未被選取為綠廊之道路 == 既有綠廊但未被選取為綠廊之道路 </p>	<p> 中山北路1~3段（既有綠廊） 中山南路 羅斯福路1~5段 興隆路2段及4段 松江路（民族東路以北） 民權東路3~5段 南京西路 南京東路1段 忠孝西路1~2段 忠孝東路4~6段 信義路3段 信義路5~6段 松勇路 敦化北路（既有綠廊） 敦化南路（既有綠廊） 基隆路3段 重慶南路2段 和平西路2段 </p>

圖六 模式分析結果

結 果	綠廊道路
<p>方案三</p>  <p> 應建立綠廊之道路 非既有綠廊道路且未被選取為綠廊之道路 既有綠廊但未被選取為綠廊之道路 </p>	<p> 中山北路1~3段 (既有綠廊) 中山南路 羅斯福路1~5段 興隆路1~4段 新生北路1~3段 新生南路1~3段 松江路 敦化北路 (既有綠廊) 敦化南路 (既有綠廊) 光復北路 光復南路 松勇路 建國北路3段 民族東路 民權東路3~5段 南京西路 南京東路1~4段 忠孝西路1~2段 忠孝東路4~6段 仁愛路1~4段 (3~4段為既有綠廊) 信義路1~5段 愛國西路 (既有綠廊) 和平西路2~3段 中華路 (既有綠廊) 基隆路3段 </p>

圖六 模式分析結果 (續)

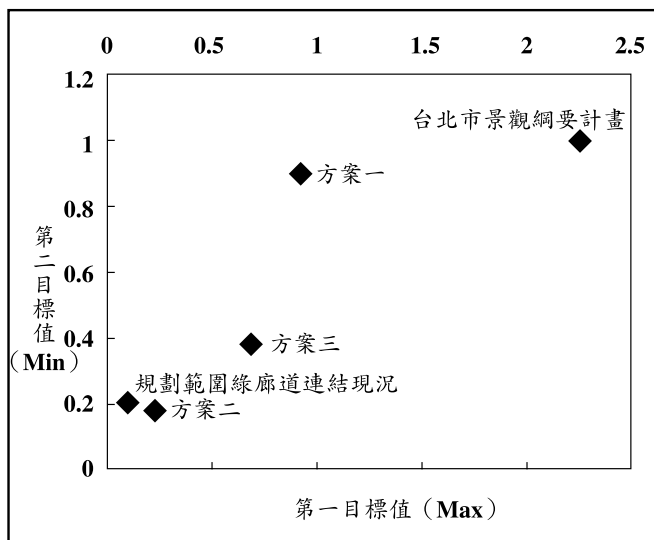
由圖六可發現，在連結廊道狀況部分，方案一的連結廊道數最多，且呈現環狀封閉式的網絡型態，此可使能量的流動及物種的遷徙途徑增加多重選擇，並提供物種活動交替間隔或替代的路線（徐嵐，1993：225-232）；方案二之連結廊道數最少，且為分歧開放式的網絡型態，其連結廊道多有斷裂的情況；而方案三之連結廊道數則是居中的情況，且亦呈現環狀封閉式的網絡型態。在既有綠廊道部分，方案一與方案三之既有綠廊道除了2條未被選取外，其餘之5條既有綠廊道皆有進行串聯，此可增加綠廊建設之效率，而未被選取之2條綠廊道分別為南京東路4段與辛亥路2段，這是因為此2條綠廊道原本就未連結任何嵌塊體之緣故；而方案二之既有綠廊則是除了中山北路1~3段與敦化南北路有連結外，其餘之既有綠廊皆未被連結。整體而言，方案一與方案三無論在景觀生態層面與建設效率方面，皆較方案二為優。因為本模式為一輔助決策工具，協助規劃者進行綠廊道網絡之規劃，並提供各項替選方案之評估參考，故在操作過程保留可由規劃人員調整的空間。

將模式所產生三個非劣方案跟現況以及台北市景觀綱要計畫所建議之綠廊道網絡（中華民國都市設計學會，2006）進行比較，如圖七所示，發現景觀綱要計畫在第一目標值的表現是最高的，但相對地在第二目標值之表現卻是最低的，此可顯示出台北市景觀綱要計畫較著重自然景觀層面之規劃，但卻忽略對人類的干擾，有必要加以平衡。再者，在第二目標值的部分，則是方案二的表現為最高，其次是規劃範圍綠廊道連結現況，再來則是方案三，此可發現規劃範圍綠廊道連結現況雖然在對人類干擾層面之表現僅較本模式所規劃之方案二為差，但在第一目標（自然景觀層面）之表現卻是最差的，故可瞭解規劃範圍綠廊道連結現況非常不利於人類物種與能量的流動，所以有必要增加綠廊道之連結。

整體而言，方案三為最折衷之規劃方案，能夠同時兼顧第一目標與第二目標之期望，其中方案三雖然在第一目標值的表現較方案一略低，但是方案三在第二目標值的表現卻較方案一高出許多，故由此可得知，若規劃者必須同時兼顧景觀自然層面與對人類干擾層面，可依據方案三所規劃之結果作為都市綠廊道網絡規劃之參考。

（三）敏感度分析

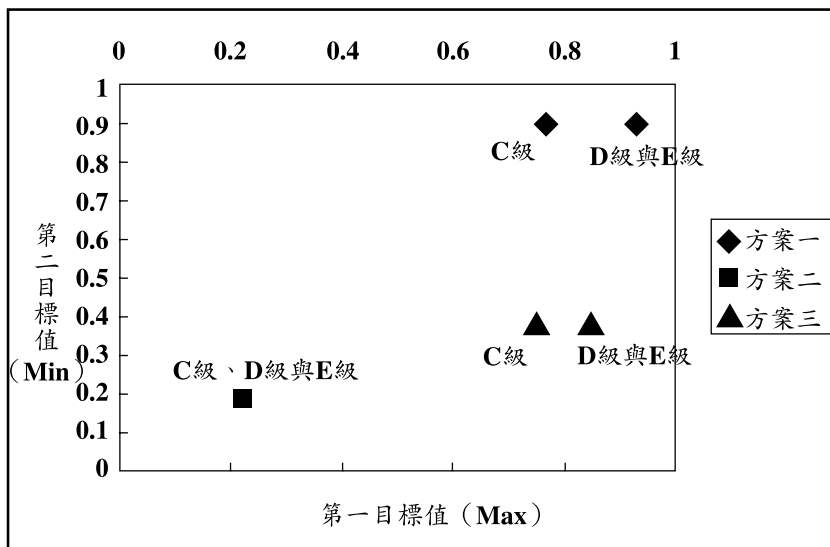
本研究分別針對給定參數中之「車輛密度」與「廊道建設費用」進行敏感度分析：



圖七 目標值表現散佈圖

1. 車輛密度

決策者可以進一步瞭解提高或降低對車輛密度之限制，亦即在不同道路服務水準的限制下，規劃結果會產生何種不同的變化，模式規劃結果之目標值如圖8所示。結果顯示三個方案在道路服務水準限制為A與B級時，會由於無法滿足本研究所設定之每個嵌塊體（節點）必須都被連結到的限制，而呈現無解的狀況；再者，方案一與方案三之道路服務水準在C、D與E級雖然有相同的第二目標值表現，但D與E級在第一目標值的表現則是高於C級；此外，方案二則是道路服務水準無論在何種等級下，第一目標值與第二目標值之表現皆呈現一致的結果。由此可知，若在僅考量景觀生態層面（方案一）或同時生態與人類干擾層面（方案三）的情況下，在道路服務水準較高的道路設置綠廊道，並不會明顯降低對人類的干擾（第二目標值），反而會由於許多道路之服務水準未達標準，而使得設置綠廊道的數目減少，進而降低景觀生態層面（第一目標值）的表現，然而若道路服務水準太差，也會影響道路旁綠廊進行遷徙或棲息之物種，故建議決策單位可以車輛密度之道路服務水準D級為限制，來進行綠廊道網絡系統之綠廊道設置。然而，若僅考量對人類干擾層面（方案二）時，道路服務水準之限制並不會影響模式分析之結果。



圖八 「車輛密度」敏感度分析目標值散佈圖

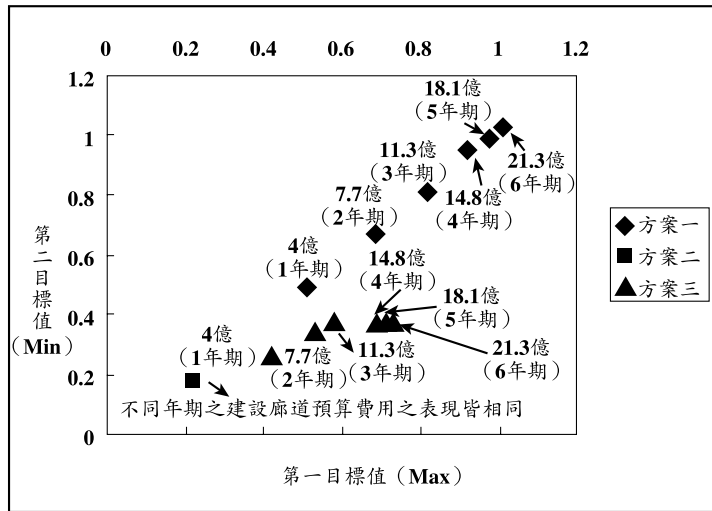
註：車輛密度限制在A級與B級時無解，故無法顯示在圖面上。

2. 廊道建設預算

本研究原來以每年編列4億元預算，連續編列4年之折現作為預算上限，若政府想瞭解不同編列年期之折現值，亦即在不同的預算限制下對規劃結果會產生何種影響，模式規劃結果之目標值如圖九所示。結果顯示可發現，方案一之廊道建設預算費用，在第一與第二目標值的表現部分，是呈現依年期遞增的情況，代表增加廊道建設費用可以增加景觀自然向度的表現，但卻會增加對人類的干擾；而方案二是無論廊道建設預算為多少，第一目標值與第二目標值之表現皆不變；另外，方案三在第一目標值的表現部分，是呈現依年期遞增的情況，而在第二目標值表現方面，則是依建設年期增加而遞減^{註30}，但減少幅度不大。由此可知，若僅考量景觀自然層面（方案一），當廊道建設預算費用愈優渥時，景觀層面（第一目標值）的表現會愈佳，但會增加廊道建設對人類的干擾（第二目標值），且其中值得注意的是，在三個方案中，方案一對人類的干擾是最大的。然而，若僅考量對人類干擾層面（方案二）時，廊道建設預算費用之多寡並不會影響模式分析之結果。而若同時景觀與對人類干擾層面（方案三）的情況下，當廊道建設預算費用愈優渥時，景觀自然層面(第一目標值)的表現會愈佳，但亦會增加對人類的干擾（第二目標值），然而其影響程度小於方案一，且方案三對目標值一與二增加或減少的幅度依年期慢慢遞減，是故，在政府財政狀況許可範圍內，應該同時衡量生態與對人類干擾層面，適度地增加廊道預算之費用，方能確實提高都市綠廊道網絡之效益。

本研究同樣採用一階演算法找出在車輛密度與廊道預算限制更動後之模式所有非劣解，發現皆在方案三後即停止求解，故決策單位無論在車輛密度與廊道建設預算費用部分做任何變動，模式之所有非劣解同樣皆有三個方案可供選擇與參考。

註30. 由於第二目標值為最小化（Min）之型態，故表現情況應為愈小愈好。



圖九 「廊道建設費用」敏感度分析目標值散佈圖

六、結論與建議

都市綠廊道網絡為都市欲提升環境品質之重要規劃理念，但目前之規劃分析尚缺乏系統化的規劃方法，故與過去都市綠廊道網絡之文獻比較，本研究所建立之規劃模式達到以下三項成果：

- (一) 首先為以0-1多目標規劃方法建立都市綠廊道網絡規劃模式，使規劃者可以同時兼顧生態、經濟與人類干擾向度，在既有都市路網不更動的情況下，規劃綠廊道網絡之綠廊設置路線；
- (二) 本研究所使用的一階規劃方法，可以為所建構模式找出0-1多目標線性規劃所有之非劣解；
- (三) 經由實例分析已確認模式之實用性，分析之過程與結果可供規劃者進行都市綠廊道網絡規劃之參考。

此外，在模式實例分析與應用方面，可得到以下幾點成果與建議：

- (一) 對台北市基隆河以南進行實例分析結果，可提供台北市景觀綱要計畫進行綠廊道網絡規劃再檢討之參考，且由敏感度分析可瞭解，在政府財政狀況許可範圍內，應該同時衡量景觀生態與對人類干擾層面，適度地增加廊道預算之費用，方能確實提高都市綠廊道網絡之效益。
- (二) 在模式應用方面，本文建議應注意以下事項：首先為本模式僅適用於已發

展之都市地區，其土地使用與道路網發展皆已完成相當之程度，若為未發展地區其道路網尚未規劃或建設完整，並不適用本模式進行規劃分析；二為本研究假設都市內之指標物種已被確認且可據以進行規劃，因此前述確認工作必須在使用模式之前完成。

最後，關於模式之後續研究方向，本文提出以下建議供參考：

- (一) 首先為模式中限制式所設定之門檻值，在噪音、空氣污染與車流密度（ D^* ）方面，由於噪音與空氣污染值的測定往往以區域性測站所測得的指標值為主，而非針對每條道路進行測定，故若對於個別道路進行噪音、空氣污染的限制，則不能完整發揮模式限制式的效用，所以將限制以簡化方式呈現；建議後續研究若取得詳盡之資料，則可依據個別路段分別進行噪音、空氣污染與車流密度進行限制，或者針對三項指標建立一完整的關係式，方能使模式更為貼切實務上之需求；此外，建設與維護廊道的成本往往是以單位建設（維護）成本乘上綠廊道長度來計算，更可能由於不同路段有不同的考量狀況，且實際上建設與維護綠廊道的成本預算項目亦有可能會有不同的經費來源或項目標準，但由於本研究受限於目前資料取得的問題，將建設綠廊道成本（ B_C ）與維護綠廊道成本（ B_R ）數值設定簡化，故建議後續研究若可排除資料取得的困難，根據實際狀態進行綠廊道維護與建設成本預算的分析與補充，方能使模式更為貼切實務上之需求；
- (二) 後續研究可對未發展地區或非都市地區進行綠廊道網絡規劃模式之建構，同時進行未發展地區之土地使用、運輸路網與綠廊道網絡配置，此時可不只以運輸路網為基礎進行綠廊道網絡配置，亦即運輸路網與綠廊道網絡可分開進行規劃，並考量運輸路網與綠廊道網絡之衝突點最小化，建立運輸路網與綠廊道網絡之整合規劃模式；
- (三) 由於綠廊道網絡之建設與維護成本甚鉅，本研究是屬於4年期的靜態規劃，若實際進行綠廊道建設則必須進行時程之規劃，故建議後續研究可利用景觀結構分析等相關資料，作為綠廊道網絡時程規劃之基礎，如可將面積（ A 指標）較大、形狀指數較高（ D 指標^{註31}）以及隔離指數（ R 指標）較低之綠地作為優先連結之標的，爾後再連結次佳的綠地，以時程規劃之手法更為

註31. 形狀指數除了使用如註釋1以圓形為理想形狀之設計外，並因為實務上建築基地與街廓形狀，乃以矩形為理想形狀，尤其是大約為10：3的長寬比形狀；若將此視為理想形狀，則

重新定義形狀指數，可建議理想矩形之嵌塊體形狀指數 = $\frac{\text{嵌塊體周長}}{4.75\sqrt{\text{嵌塊體面積}}}$

貼切與合乎實際地建立綠廊道網絡；

- (四) 由於綠廊道設置後將影響整體道路網的交通量指派，然而，若要將都市整體道路網的路網指派問題納入模式中處理，將明顯地增加模式複雜度以及輸入資料的準備負擔。在實用性考量下，本研究現階段將模式聚焦於綠廊道網絡之規劃，故將目標二著眼在對設置綠廊道路段的交通影響最小化，亦即若建設綠廊道路段所減少的車輛旅行速率愈低，路段將會被選取。不過，路網指派在綠廊道網絡規劃的工作上，著實為一項重要的考量議題，故建議後續的模式改善研究應設法發展實用的方法，將路網指派議題納入模式中處理，以具體掌握設置綠廊道後的交通影響。

參考文獻

- 中華民國都市設計學會（2006），《台北市景觀綱要計畫》，台北市政府都市發展局委託。
- 中華民國景觀學會（2003），《台北市都市景觀中長程建設計劃》，台北市政府都市發展局委託。
- 中華智慧型運輸系統協會（2001），《台北市交通改善評鑑指標調查》，台北市政府交通局委託。
- 內政部營建署（2006），《市區道路生態綠廊道整體建構計畫》，內政部營建署出版品。
- 王小璘、吳慧儀（2000），〈都市廊道景觀生態功能評估架構之研究—以台中市東光園道為例〉，《造園學報》，第7卷，第2期，頁99-199。
- 王小璘、涂芳美（2001），〈由景觀生態學觀點探討都市公園生物多樣性—以台北市大安森林公園為例〉，《東海學報》，第42卷，頁115-127。
- 王智聖（2002），〈都市公園生態空間特性之研究—以台南市公園鳥類為例〉，國立成功大學都市計劃學系碩士論文。
- 台北市政府工務局公園路燈工程管理處（2008），http://pkl.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_theme?page=4383e617。
- 台北市政府主計處（2005），〈臺北市地方總預算歲出機關別預算表〉，http://www.dbas.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_theme?page=43d0acb4。
- 台北市政府交通局交通管制工程處（2005），〈交通流量調查資料〉，<http://www>。

bote.taipei.gov.tw/flow.asp。

交通部運輸研究所 (2001),《台灣地區公路容量手冊》,台北市:交通部運輸研究所出版品。

吳孟勳 (2001),〈生態街道與城市永續發展之探討〉,國立成功大學都市計劃研究所碩士論文。

林利貞 (1998),〈高雄市公園環境與鳥類群聚之相關研究〉,國立高雄師範大學生物科學研究所碩士論文。

徐嵐 (1993),〈景觀網絡結構的幾個問題〉,《景觀生態學:理論、方法及應用》,肖篤寧主編,台北:地景企業股份有限公司。

陳彥良 (2002),〈以景觀生態學觀點探討都市生態網絡之研究—以台中市為例〉,東海大學景觀研究所碩士論文。

陳恆安 (1994),〈台中市延都市郊區梯度上動物分布與物種豐富度〉,東海大學生物研究所碩士論文。

陳顧淋 (2002),〈最小成本路徑分析在生態廊道分析的利用—以太魯閣與雪霸國家公園間為例〉,國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。

曾昭恩 (2002),〈台中市都市生態系統空間結構分析之研究〉,朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文。

游振祥 (2001),〈都市生態廊道系統評估模式建立之研究〉,朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文。

黃昭雄 (2003),〈以服務水準及空間結構特性探討台中市鄰里公園網絡系統〉,逢甲大學建築與都市計畫所碩士論文。

黃書偉、陳昱伶 (2003),〈都市生態網絡規劃可行性之探討〉,長榮大學 2003 全國土地管理與開發學術研討會。

劉保廷 (2004),〈以景觀生態學廊道理論探討都市道路生態評估因子之研究—以台中市西區為例〉,朝陽科技大學建築與都市設計研究所碩士論文。

蔡佩真 (1994),〈都市綠網評估體系之建構與應用〉,逢甲大學土地管理學系碩士論文。

鄧振源 (2005),《計畫評估:方法與應用》,基隆市:海洋大學運籌規劃與管理研究中心,第二版。

環藝工程顧問有限公司 (2004),《綠之網—建國南北路綠軸實質空間規劃設計案》,台北市政府都市發展局委託。

Ahern, J. (1995), "Greenways as a planning strategy," *Landscape Urban Planning*, 33:

31~155.

- Beatley T. (1999) , *Green urbanism: Learning from European cities*, Washington D. C.: Island Press.
- Bitran, G. R. (1979) , “Theory of algorithms for linear multiple objective programs with zero-one variables,” *Mathematical Programming*, 17: 362-390.
- Bunn, A. G., D. L. Urban, and T. H. Keitt (2000) , “Landscape connectivity: a conservation application of graph theory,” *Journal of Environmental Management*, 59: 265-278.
- Burden, A. (2004) , “City Planning Rezoning Guarantees Greenway on North Brooklyn Waterfront,” *Transportation Alternatives*, 10 (3) : 3-4.
- Catharinus, F. J. and P. A. W. Geert (2002) , “Reducing habitat fragmentation by minor rural roads through traffic calming”, *Landscape and Urban Planning*, 58: 125-135.
- Collinge, S. K. (1996) , “Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning,” *Landscape and Urban Planning*, 36: 59-77.
- Cook, E. A. (2002) , “Landscape structure indices for assessing urban ecological networks,” *Landscape and Urban Planning*, 58: 269-280.
- Cook, W. D. and M. Kress (1988) , “Deriving weights from pair-wise comparison ration matrices: an axiomatic approach,” *European Journal of Operational Research*, 37: 355-362.
- Deckro, R. F. and E. P. Winkofsky (1983) , “Solving zero-one multiple objective programs through implicit enumeration,” *The European Journal of Operational Research*, 12: 362-374.
- Erickson, D. (2006) , *Metro Green: Connecting open space in North American cities*, Washington DC: Island Press.
- Fabos J. and J. Ahern (1996) , *Greenways: The beginning of an international movement*, Amsterdam: Elsevier.
- Fabos, J. G. (1995) , “Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways,” *Landscape Urban Planning*, 33: 1-13.
- Forman R. T. T. (1995) , *Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions*, New York: Cambridge University Press.
- Forman R. T. T., J. A. B. Daniel Sperling, P. C. Anthony, and D. C. Carol (2002) , *Road*

- Ecology: Science and Solutions*, Washington, D. C.: Island Press.
- Furuseth, O. J. and R. E. Altman (1991) , “Who’s on the greenway: Socioeconomics, demographic, and locational characteristic of greenways users,” *Environmental Management*, 15 (3) : 329-336.
- Gerlough, D. L. and M. J. Huber (1975) , “Traffic Flow Theory: A Monograph,” TRB Special Report 165, Washington, D. C.: Transportation Research Board, National Science Council.
- Greenshields, B. D. (1934) , “A study of traffic capacity,” *Proceeding of Highway Research Board*, 14: 448-477.
- Ho W. (2008) , “Integrated analytic hierarchy process and its applications– A literature review”, *European Journal of Operational Research*, 186: 211-228.
- ICOET, Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation (2001) , *Center for Transportation and the Environment*, NC State University, Keystone, Colorado, USA.
- ILAR, Institute of Laboratory Animal Resources, National Research Council (1996) , *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*, 7th Ed. Washington D.C.: National Academy Press.
- Jahanshahloo, G. R., F. Hosseinzadeh, N. Shoja, and G. Tohidi (2005) , “A method for generating all efficient solutions of 0-1 multi-objective linear programming problem,” *Applied Mathematics and Computation*, 169: 874-886.
- Jongman, R. H. G., M. Kulvik, and I. Kristiansen (2004) , “European ecological networks and greenways,” *Landscape Urban Planning*, 68: 305-319.
- Jongman, R. H. G., and G. Pungetti (2004) , *Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kemp, R. L. (2006) , *Cities and nature: A handbook for renewal*, North Carolina: McFarland & Company.
- Kerley, L. L., J. M. Goodrich, D. G. Miquelle, E. N. Smirnov, H. B. Quigley and M. G. Hornocker (2002) , “Effects of roads and human disturbance on Amur Tigers,” *Conservation Biology*, 6 (1) : 97-108.
- Korpela, J., K. Kylaheiko, A. Lehmusvaara, and M. Tuominen (2001b) , “The effect of ecological factors on distribution network evaluation,” *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 4 (2) : 257-269.

- Korpela, J., K. Kylaheiko, A. Lehmusvaara, and M. Tuominen (2002) , “An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design,” *International Journal of Production Economics*, 78 (2) : 187-195.
- Korpela, J., and A. Lehmusvaara (1999) , “A customer oriented approach to warehouse network evaluation and design,” *International Journal of Production Economics*, 59: 135-146.
- Korpela, J., A. Lehmusvaara, and M. Tuominen (2001a) , “Customer service based design of the supply chain,” *International Journal of Production Economics*, 69 (2) : 193-204.
- Krovak, J. (1987) , “Ranking alternatives: comparison of different methods based on binary comparison matrices,” *European Journal of Operational Research*, 32(1) : 86-95.
- Lea, D. (1990) , “Greenways move to forefront”, *Common Ground*, 2 (2) : 4-5.
- Li, F., R. Wang, J. Paulussen, and X. Liu (2005) , “Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: A case study in Beijing China,” *Landscape Urban Planning*, 72: 325-336.
- Linehan, J., M. Gross, and J. Finn (1995) , “Greenway planning: developing a landscape ecological network approach,” *Landscape Urban Planning*, Vol. 33, pp. 179-193.
- Little, C. (1990) , *Greenways for America*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ohnishi, H., K. Uesaka, H. Oneyama, and A. Kawakami (1999) , “Planning method of ecological network and road projects,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 3 (1) : 51-58.
- Opdam, P., E. Steingröver, and S. V. Rooij (2006) , “Ecological Networks: A spatial concept for multiactor planning of sustainable landscapes,” *Landscape and Urban Planning*, 75: 322-332.
- Randolph, J. (2004) , *Environmental land use planning and management*, Washington DC: Island Press.
- Saaty, T. L. (1980) , *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, New York: McGraw-Hill.
- Searns, R. M. (1995) , “The evolution of greenways as an adaptive urban landscape form,” *Landscape Urban Planning*, 33: 65-80.
- Short Elliott Hendrickson Inc. (2002) , *Mitigation & Enhancements*, I-35W Access

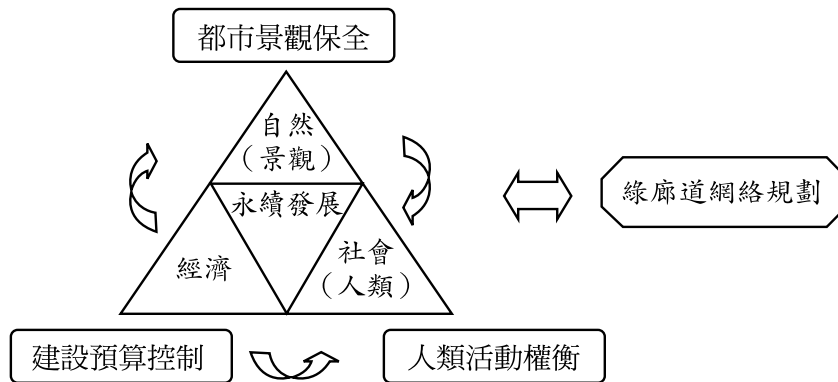
- project: Active Transportation, a report commended by Hennepin Count, City of Minneapolis, Phillips Partnership Transportation Inc., Minnesota Department of Transportation, and Metropolitan Council: 41-46.
- Smith, D. S. and P. C. Hellmund (2006) , *Designing greenways: Sustainable landscapes for nature and people*, Washington DC: Island Press.
- Sodhi, N. S., C. Briffett, L. Kong, and B. Yuen (1999) , “Bird use of linear areas of a tropical city: implications for park connector design and management,” *Landscape and Urban Planning*, 45: 123-130.
- Tan, K. W. (2006) , “A greenway network for Singapore,” *Landscape Urban Planning*, 76: 45-66.
- Toccolini, A., L. N. Fumagalli, and G. Senes (2006) , “Greenways planning in Italy: the Lambro River Valley Greenways System,” *Landscape and Urban Planning*, 76: 98-111.
- Turner, M. G., R. H. Gardner, and R. V O’Neill (2001) , *Landscape Ecology in theory and practice: Pattern and Process*, New York: Springer-Verlag.
- Turner, T. (2006) , “Greenway planning in Britain: resent work and future plans,” *Landscape Urban Planning*, 76: 245-251.
- Tyagi, R., and C. Das (1997) , “A methodology for cost versus service trade-offs in wholesale location-distribution using mathematical programming and analytic hierarchy process,” *Journal of Business Logistics*, 18 (2) : 77-99.
- Vaidya, O. S., Kumar, S. (2006) , “Analytic hierarchy process: An overview of applications,” *European Journal of Operational Research*, 169 (1) : 1-29.
- Voogd, H. (1983) , “Multi-criteria evaluation for urban and regional planning”, London: Pion.
- Walmsley, A. (1995) , “Greenways and the making of urban form”, *Landscape Urban Planning*, 33: 81-127.
- Wisloski, J. (2005) , *Some greenway by spring*, The Brooklyn Papers.
- Yu, K., D. Li, and N. Li (2006) , “The evolution of greenways in China”, *Landscape Urban Planning*, 76: 223-239.

附錄一 專家問卷調查與AHP分析

由於綠廊道網絡規劃須同時涉及景觀、都市與運輸規劃，過程繁複並且需仰賴專業的判斷，故本研究採用專家方法進行AHP分析，以下分別就AHP操作過程進行敘述：

(一) 構建層級結構

本研究在建構問卷前同時採前瞻層級程序法（forward process hierarchy）及腦力激盪法（brainstorming）（Saaty, 1980），進行由上而下（top-down）的演繹，並經過專家學者充分的討論與評價，羅列出之目標為所有專家學者所認同。再者，專家問卷為根據新自然保護策略（new nature conservation strategies）與永續發展的理念將都市綠廊道網絡規劃層級結構中的第一層級區分為自然（景觀）、經濟與社會（人類）三大向度，且本身即具有trade-off的關係以及獨立性存在，其概念如附圖一所示，爾後再根據文獻回顧整理對上下層級的要素加以確認，而完成層級結構的建立。



附圖一 綠廊道網絡規劃理念

(二) 問卷設計與調查

根據上述評估層級結構，設計出兩兩成對比較之專家學者問卷，調查時間為2007年3月19日至3月30日，共發出8份，回收5份，並採用Expert Choice 2000（2nd ed.）軟體，計算其權重值與一致性檢定；本文一致性檢定中「一致性指標

(Consistency Index, 以下簡稱CI)」與「一致性比例 (consistency ratio, 以下簡稱CR)」採用嚴格的標準, 即兩者皆要小於0.1, 方可通過檢定。

專家訪問對象主要以學術單位為主, 包括台灣大學園藝學系、台灣大學生物環境系統工程系、朝陽科技大學建築及都市設計研究所與文化大學景觀學系。以上訪問對象皆為專精或熟稔於景觀生態之學者代表, 其研究領域包括景觀規劃設計、景觀生態研究景觀建築、景觀理論、景觀生態計量方法、土地利用變遷模式與生態規劃模擬。

(三) 成對比較判斷的檢定

經由問卷調查後, 進行目標間兩兩重要度比較, 在AHP法中所使用的適當方法, 係透過每二個要素相互比較的「成對比較法 (pairwise comparison method)」, 故本文採用此方法進行兩兩比較。

(四) 層級一致性檢定

本文計算每一個受訪者對各個階層目標的權重值與其一致性檢定, 採用嚴格的標準, 即兩者皆要小於0.1, 方可通過檢定。5份問卷中CI值與CR值都很低, 所有層級中CI最高為0.06、CR為0.05; 而CI最低為0.00、CR為0.02, 其皆小於0.1, 其各個層級一致性相當高, 顯示這5份專家學者問卷具有相當高的可靠性。

(五) 專家偏好的整合

在專家偏好整合方面, 本文採用「事後整合 (pool last)」方式, 選取標準為考量因素在個別向度內之權重排名前一半者, 得到如附表一之相對權重結果, 再者, 所篩選出的都市綠廊道網絡規劃考量因子中, 若該考量因素無一定之門檻標準, 但可確認其期望的方向, 則視其為本研究之目標式; 若該考量因素有一定之門檻標準或最低限度之要求時, 則視其為本研究之限制式, 結果如內文之圖二所示, 此外, 目標式一之三個權重值 W_1 、 W_2 及 W_3 使用即為附表一所示之AHP分析Global權重結果。

附表一 都市綠廊道網絡規劃考量因素AHP分析之權重結果表^{註32}

向 度	考量因素	權重 (W)	
		Global權重	向度內相對權重
景觀生態	網絡連接度	$W_1' = 0.091$	$W_1 = 0.31$
	網絡環通度	$W_2' = 0.096$	$W_2 = 0.32$
	網絡複雜度	$W_3' = 0.111$	$W_3 = 0.37$
經 濟	建設成本	$W_4' = 0.037$	$W_4 = 0.18$
	維護成本	$W_5' = 0.174$	$W_5 = 0.82$
人 類	車行速率	$W_6' = 0.030$	$W_6 = 0.09$
	車輛密度	$W_7' = 0.030$	$W_7 = 0.09$
	噪音	$W_8' = 0.128$	$W_8 = 0.38$
	空氣污染	$W_9' = 0.128$	$W_9 = 0.38$

註32. 由於本研究僅選取為各考量因素在個別向度內之AHP評估權重排名前半者，故附表一之相對權重總合未等於1。

附錄二 實例分析各嵌塊體間可能直接連接之道路與其相關資料

附表二 實例分析各嵌塊體間可能直接連接之道路與其相關資料表

廊道 (組合)	車道數 (條)	車流量 (小客車/小時)	速率 (公里/小時)	每車道密度 (小客車/公里/車道數)	建設成本 (萬元/年)	維護成本 (萬元/年)	減少速率 (公里/小時)	減少單位速率 (%)	建設後每車道密度 (小客車/公里)
X _{1,2}	10	1794	42.9	7.0	198	0.06	3.96	11	11.55
X _{1,20}	10	2332	29.1	8.0	376	0.11	2.26	7	10.00
X _{1,21}	10	1794	42.9	4.2	198	0.06	1.19	3	9.63
X _{1,22}	8	2218	42.9	6.5	2323	0.70	2.45	7	21.07
X _{1,26}	6	2222	42.9	8.6	2497	0.76	4.86	15	23.70
X _{1,27}	8	1423	42.9	4.1	2499	0.76	1.54	4	13.33
X _{2,3}	6	2878	33.1	14.5	186	0.06	8.19	31	21.75
X _{2,20}	10	2332	32.5	7.2	3915	0.97	2.03	6	8.13
X _{3,4}	8	1631	33.1	6.2	475	0.14	2.34	6	15.07
X _{3,5}	8	2470	33.1	9.3	7450	2.26	3.50	11	14.80
X _{3,6}	8	2479	33.1	9.4	1224	0.37	3.54	11	14.80
X _{3,19}	8	1797	31.7	7.1	7626	2.31	2.67	8	11.20
X _{3,20}	8	2332	26.8	10.9	3564	1.08	4.11	13	11.20
X _{4,5}	8	2470	27.9	11.1	129	0.04	4.18	14	14.80
X _{5,6}	8	2470	27.9	11.1	4415	1.34	4.18	14	14.80
X _{5,7}	8	2470	27.9	11.1	2445	0.74	4.18	14	15.47
X _{5,8}	8	2470	27.9	11.1	6278	1.90	4.18	14	18.00
X _{6,7}	8	2543	29.1	10.9	2734	0.83	4.11	13	18.00
X _{6,19}	8	2543	27.9	11.4	6393	1.94	4.29	14	14.80
X _{6,20}	10	2470	29.1	8.5	4209	1.28	2.40	7	12.00
X _{7,8}	8	2082	27.2	9.6	2645	0.80	3.62	11	17.73
X _{7,18}	10	3367	31.7	10.6	5120	1.55	2.99	10	20.88
X _{7,19}	10	3960	29.8	13.3	2222	0.67	3.76	13	10.00
X _{7,20}	10	2332	29.1	8.0	5662	1.72	2.26	7	12.00
X _{8,9}	8	2082	27.2	9.6	4130	1.25	3.62	11	17.73
X _{8,13}	8	3960	29.8	16.6	3496	1.06	6.25	26	22.27
X _{8,18}	8	3367	31.7	13.3	9539	2.89	5.01	18	11.20
X _{8,19}	8	3960	26.8	18.5	998	0.30	6.97	32	11.20
X _{8,20}	8	2332	26.8	10.9	8201	2.49	4.11	13	16.67
X _{8,21}	14	4258	24.3	12.5	3014	0.91	2.35	8	18.43
X _{8,22}	8	2222	23.4	11.9	4022	1.22	4.48	15	21.07
X _{8,23}	6	2222	23.4	15.8	2992	0.91	8.93	36	23.70
X _{8,26}	6	2082	23.4	14.8	5509	1.67	8.36	32	23.70
X _{9,10}	8	2082	27.2	9.6	1441	0.44	3.62	11	12.80

附表二 實例分析各嵌塊體間可能直接連接之道路與其相關資料表 (續)

廊道 (組合)	車道數 (條)	車流量 (小客車/小時)	速率 (公里/小時)	每車道密度 (小客車/公里/車道數)	建設成本 (萬元/年)	維護成本 (萬元/年)	減少速率 (公里/小時)	減少單位速率 (%)	建設後每車道密度 (小客車/公里)
X _{9 13}	8	2082	27.2	9.6	2808	0.85	3.62	11	12.80
X _{10 11}	8	2082	27.2	9.6	1461	0.44	3.62	11	12.80
X _{12 13}	10	3960	29.8	13.3	677	0.21	3.76	13	16.63
X _{13 18}	10	3960	29.8	13.3	10605	3.21	3.76	13	20.88
X _{13 19}	10	3960	29.8	13.3	6456	1.96	3.76	13	16.63
X _{14 15}	6	1647	28.7	9.6	1552	0.47	5.42	17	14.40
X _{15 16}	6	1637	28.7	9.5	506	0.15	5.37	17	14.40
X _{16 17}	6	1637	28.7	9.5	2143	0.65	5.37	17	14.40
X _{17 18}	6	1637	28.7	9.5	4595	1.39	5.37	17	14.40
X _{18 19}	8	3367	31.7	13.3	4085	1.24	5.01	18	17.73
X _{18 21}	8	3967	38.7	12.8	7023	2.13	4.82	17	17.73
X _{19 20}	10	2332	29.1	8.0	5195	1.57	2.26	7	10.13
X _{19 21}	10	3960	29.8	13.3	1734	0.53	3.76	13	16.63
X _{19 23}	8	3463	29.1	14.9	5110	1.55	5.61	21	20.93
X _{20 21}	10	2332	42.9	5.4	376	0.11	1.53	4	10.00
X _{20 22}	10	2332	42.9	5.4	3035	0.92	1.53	4	10.00
X _{20 26}	10	2332	42.9	5.4	4128	1.25	1.53	4	19.75
X _{20 27}	10	2332	29.1	8.0	3439	1.04	2.26	7	12.50
X _{21 22}	8	2218	38.7	7.2	1012	0.31	2.71	8	10.27
X _{21 23}	8	2218	38.7	7.2	198	0.06	2.71	8	10.27
X _{22 23}	8	2218	36.8	7.5	1012	0.31	2.83	8	10.00
X _{22 26}	8	2222	36.8	7.5	1934	0.59	2.83	8	21.07
X _{23 24}	10	3649	30.8	11.8	2257	0.68	3.33	11	14.75
X _{23 25}	8	3463	29.1	14.9	4049	1.23	5.61	21	12.40
X _{23 26}	10	3649	30.8	11.8	3861	1.17	3.33	11	19.75
X _{24 25}	6	1514	27.2	9.3	198	0.06	5.25	16	13.95
X _{24 26}	10	3649	30.8	11.8	461	0.14	3.33	11	19.75
X _{25 26}	10	3967	23.4	17.0	343	0.10	4.80	20	19.75
X _{26 27}	8	2222	23.4	11.9	343	0.10	4.48	15	21.07

