地理學報　第四十五期：51-71 (2006)
JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (45) : 51-71 (2006)

都市鄰里公園之區位選擇研究

A Study of the Location Selection for Urban Neighborhood Park

衛萬明*　　林宏晉**

Wann-Ming Wey　Hung-Chin Lin

Abstract

This paper proposes a model for use in selecting the location for a park facility where an uncertainty population is taken as a factor. In other existing models, the uncertainty population factor is simplified by using a fixed value or a value based on existing but inaccurate data. These methods oversimplify the issue and do not reflect actual circumstances, thereby causing inaccurate decisions. The proposed model seeks to rectify this problem. Taiwan has already reached a certain level of development that the old models are no longer appropriate. The proposed model seeks to complement the current situation while taking into consideration the uncertainty population factor.

In the research conducted for the creation of the proposed model, detailed reviews of existing location theories, Genetic Algorithm, Monte Carlo simulation and Simulation Optimization have been made. A regression model is used to make a projection on the uncertainty population and to consider the uncertainty distance of travel. The Monte Carlo simulation is used for risk estimation. This study then integrates P-median concept of location theory to build a basic model on the selection of an urban neighborhood park location under uncertainty factors. Finally, the use of Genetic Algorithm in RISKOptimizer effectively shortens the computation time that would generate the optimum results in the selection of a location for the park facility.

A case study has been made using the proposed model in selecting a location for a park facility in the West District of Taichung City in Taiwan. The proposed model

* 國立聯合大學建築學系副教授，通訊作者 (e-mail: wmwey@nuu.edu.tw)
Associate Professor, Department of Architecture, National United University, Corresponding Author.
** 朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士
Master, Graduate School of Architecture and Urban Design, Chaoyang University of Technology.

considered the uncertain population of the neighborhood in the future and was able to generate results that reflected the actual circumstance better than the existing models.

Keywords: location theory, uncertainty factors, Genetic Algorithm, Monte Carlo Simulation, Simulation Optimization.

摘　要

本文主要乃針對有關區位選擇的問題中, 人口預測的不確定性因素對於公園設施區位選擇的影響做一探討及研究。過去在求解設施最佳區位問題時, 常常把問題單純化或是將區位選擇問題中所隱藏的不確定性因素以事先定義好的值 (predefined value) 來設定之, 如此一來問題則變得單純且容易解決矣。然而其缺點卻是無法有效反映現實狀況, 並使得設施區位設定的決策產生相當之誤差。臺灣都市目前已朝向多元化發展, 傳統的區位選擇方式已無法解決含有具不確定性因素的區位問題, 因此, 實有必要發展出一套可以針對區位選擇中具有不確定性因素進行風險評估的區位選擇模式, 以提供最新且符合本文所探討的不確定性因素下公園設施最佳區位選擇之模式。

本研究將針對相關區位理論、基因演算法 (Genetic Algorithms, GA)、蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation)、及模擬最佳化 (Simulation Optimization) 法進行研究方法的探討, 同時並將應用迴歸模式 (regression model) 以推估在區位選擇問題中的未來人口數, 以及考慮旅行距離中的不確定性因素, 並以蒙地卡羅模擬法進行其預測上之風險評估。本研究並結合區位理論中 P-中位數法的概念, 建構出一個在不確定性因素下公園設施最佳區位選擇的基本模式。在本研究中, 採用 RISK Optimizer 最佳化軟體以進行模擬最佳化法並可有效的縮短搜尋可行解的時間, 並進一步求解出公園設施的最佳區位之選擇。

本研究最後以臺中市西區之鄰里公園區位選擇來進行實證研究, 並依據各鄰里的未來人口推估數量以求解出公園設施興建之最佳區位位置。由於此種求解模式和步驟考量區位選擇中具有不確定性的影響因素, 因此其所求解出來的結果也將更能符合現實環境需求的情況。

關鍵字：區位理論、不確定性因素、基因演算法、蒙地卡羅模擬法、模擬最佳化

前　言

在所有的公共設施中公園設施乃為都市大眾生活中所不可或缺的重要元素之一，而公園設施系統的完備與合理的提供也是確保都市環境品質的基礎。公園設施的規劃包含了設施數量、種類、區位以及標準等問題，而傳統公園設施配置多由專業者依其經驗或主觀的意念進行規劃，缺乏整體的分析與評估，或是隨著都市的發展擴張而設置，亦缺乏完整的通盤計劃，以致設施配置無法達到應有及預期的成效，因此合理且適當的公園設施區位實關係著未來都市的重要發展。

在一般都市空間中，良好的公園設施區位配置皆以能夠發揮設施系統最大效率 (efficiency)、兼顧

整體公平性 (fairness) 與經濟效益性 (economic benefits) 為未來都市發展的重要目的。因此，針對都市公園設施特性建立一套適合且有效之區位選擇模式，使公園設施區位能透過系統化 (systematic) 的分析模式，獲得更加合理的配置乃是十分重要的。設施區位選擇問題往往涉及到許多因素，而這些因素亦隱藏著未來可能變動的風險不確定性。這些風險因素之間存在著相依關係，使得在解決問題必須要顧慮到諸多風險因素的關係，而導致問題解決的困難度。過去對此類問題曾有學者嘗試以模糊邏輯 (Fuzzy Logic) 來解決 (Ghalia and Wang, 2000)。但模糊邏輯必須依賴專家的知識，本身無能力自行產生規則，欠缺學習能力，且無法處理問題中的不確定性。此外，亦有其他文獻曾提出以隨機規劃 (stochastic programming)、模糊規劃 (fuzzy programming) 或如灰色規劃 (grey programming) 等方法以處理上述課題中之參數不明確的問題。例如：Sakalauskas (2002) 提出藉由一系列之蒙地卡羅 (Monte Carlo) 樣本，並以隨機規劃方法來求解問題。然此法利用隨機規劃模式進行求解卻需依賴樣本大小的不斷模擬以確保問題解答的收斂性 (convergence)。Dippon (1998) 則認為，由於隨機規劃問題要求更多資料和計算步驟以解決問題，因之，多數人乃選擇了較為簡單的解答方法以求解其遭遇到的問題。同時，除非問題本身含有需以隨機性來加以應付，否則其往往不見得可以真正解決實際上發生的問題。Sahinidis (2004) 則提出利用模糊規劃 (fuzzy programming) 方法以處理在不確定情形下之最佳化問題。相較於隨機規劃中的不確定性 (uncertainty) 乃以非連續或連續機率函數來處理 (discrete or continuous probability functions)；在模糊規劃中的不確定性則是以隨機參數 (random parameters) 以處理模糊數字及其限制式矣。然模糊規劃模式中的隸屬函數 (membership function) 之建構卻往往成為一般研究者容易產生不滿意之處。Davila and Chang (2005) 則提出以灰色規劃 (grey programming) 模式以求解當我們僅具有不夠完善的 (imperfect) 資訊下所能獲得到的一組不夠精確的 (inexact) 最佳解。基本而言，灰色規劃模式對於處理因缺乏足夠資料而欲進行模式建立的問題頗有助益 (Huang *et al.*, 2002)。除上述文獻資料之補充說明外，本文主要係仍以蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 來模擬未來區位選擇中不確定性之因素，再透過人工智慧之基因演算法 (Genetic Algorithms, GA) 來求解公共設施區位最佳選擇的問題。其主要原因實在於 (根據上述文獻回顧後的瞭解)，雖然上述模式可處理參數不明確之問題，然其畢竟皆仍應用數學規劃 (programming) 模式之操作以進行求解之，而此類問題乃屬 NP-Complete 問題 (Garey and Johnson, 1979)，亦即其求解演算之時間會隨著需求點的增加而呈指數 (exponential) 型態的成長。亦因而導致在實際應用問題上無法具有時效的提供最佳解給予規劃者。因此，本研究基於此研究動機，希望能在不確定性的環境下透過系統化之規劃方式，以提供決策者較具效率及公平之決策依據，來完成公園設施區位問題之最佳化選擇。

過去求解一設施區位問題之最佳決策時，常常把問題單純化以便於處理，然其缺點是無法有效反映現實狀況，並使得決策產生相當之誤差；或是區位選擇問題往往涉及到許多因素，而這些因素亦隱藏著未來變化的不確定性。在過去的設施區位選擇相關文獻中，大多亦未在考慮不確定性因素情況下進行決策規劃，或將不確定性因素 (即各種可能的環境變數) 以事先定義好的值 (predefined values) 來設定，以使得不確定性因素變成確定的因素，如此一來問題就變得單純且容易解決矣，由於上述將條件單純化後，將使得模式無法充分完全反映實際狀況，也就使得求解模式的過程不再精確完整。模擬最佳化 (Simulation Optimization) 即在處理一個含有不確定性因素的最佳化問題時，解決問題中的不確定性因素，並有效的縮短搜尋可行解的時間，利用模擬最佳化可以解決區位問題中的兩個難題，即不

確定性因素的處理及擁有龐大的可行解空間。因此本研究乃採用蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 來模擬未來區位選擇中不確定性之因素，再透過人工智慧之基因演算法 (GA) 來求解公共設施區位最佳選擇的問題。

本研究將針對都市中公園設施區位為研究之對象，以區位理論中 P-中位數法之概念結合模擬最佳化，建構出在不確定性因素考量下之都市公園設施最佳區位選擇模式，並應用基因演算法來求解出最佳公共設施區位選擇的問題。由於本研究所建構之區位選擇模式，可以解決具有不確定性的因素及擁有龐大可行解的區位問題，所以較適合未來都市成長時須新增設置公園設施的地區。目前臺中市舊市中心的幾個轄區範圍內已呈現高度開發狀態，未來應以增加公共設施提高生活品質方向著手，因此將以舊市區中人口成長最為快速之西區做為實證研究範圍。

相關文獻探討

在都市中一般公共性設施會針對設施不同之性質及模式，採用不同區位理論來評選出最合適的設施區位點；換言之，因不同的設施型態其所對應的理論及模式亦會有所不同。以設施性質來區分的話，可分為：(一) 非緊急性設施，其乃指較無時效性限制的設施，且具有大眾生活化及普及性；(二) 緊急性設施，通常此類設施以時效性為主要考量，並提升設施服務效率性及達到各需求點為基本需求；以及 (三) 鄰避性設施，其則較注重對地方環境的衝擊，且較不考慮距離或設施成本等問題，並須將影響衝擊程度降到最低。而另以目標函數分類，Moon and Chaudhry (1984) 以 P-中位數法為基礎，所發展出來的設施區位目標函數之分類可分為極小化或極大化準則 (Min or Max Criterion)、極小化總和或極大化總和準則 (Minisum or Maxisum Criterion)、極小化最大值或極大化最小值準則 (Minimax or Maximin Criterion) 及多準則 (Multicriteria) 等四類，其準則都以總加權距離或設施數量極大化與極小化的演變，或藉由限制式來增加可信度，但整體決策模式仍以 Hakimi (1964) 的 P-中位數法的模式為主。

而在區位選擇模式中，根據 Owen and Daskin (1998) 的分類，設施區位模式與理論依其特性之不同可分成靜態與確定的區位問題 (Static and Deterministic Location Problem)、動態的區位問題 (Dynamic Location Problem)、隨機的區位問題 (Stochastic Location Problem) 等三類。靜態性與確定性的區位問題假設所有狀況都是確定的，常見的區位分析模式如 P-中位問題、覆蓋問題、中心問題等。動態模式則考慮在未來一段時間內，設施服務與需求改變的不確定性狀況 (Wesolowsky, 1973)。而隨機的區位問題則認為這些參數並不確定，而具有隨機的性質，因此模式考慮隨機變數的機率分佈。

此外，近年來基因演算法亦已逐漸被應用在設施區位選擇的研究上。Houck *et al.* (1996) 比較基因演算法 (GA)、隨機搜尋法 (Random Search) 和二選擇轉移法 (TWO-OPT Switching) 三種啟發式求解方法，發現在大規模的區位配置問題中基因演算法提供了比其他傳統的求解方法更好的解答。曾國雄等 (1997) 認為區位選擇本質上係屬 NP-hard 問題，逐步尋優方法 (Stepwise Algorithm, SA) 即針對規模較大之問題建立的一套具高精確度且高效率性之尋優模式，然其程序上較為複雜，且尚無法保證能求得整體最佳解。林楨家與馮正民 (1998) 研究在構建規劃者所期望擁有的分析工具，它是由一個多目標數學規劃模式與一套基因演算法所組成；前者將配置問題提綱挈領地規範成數學規劃模式，後者

則負責為這個模式找出近似非劣解集做為替選方案，分析結果為接近柏拉圖最適化的替選方案。整體而言，這個分析工具應該符合規劃者的需要。Dvorett (1999) 提出基因演算法是一種啟發式求解的方式，利用在自然界中模仿進化論的基因再生、突變和複製的過程，進行演算達到收斂於一個好的解答。另外，基因演算法使用相容性 (compatibility) 的新觀念應用在 P-中位數法的規劃上，此求解方式提供相互彼此再生以產生新世代的解答，基因演算法有系統的闡明並且提供了計算的結果，提出延伸和未來的主題。Jaramillo *et al*. (2002) 認為基因演算法能夠解決大規模組合的最佳化問題，並探討應用基因演算法解決廣大的社會區位問題，證明基因演算法是有效且可行的方法。桂家悌 (2002) 以典型的地區設施區位分佈模式 P-中位數模型的概念為基礎，配合基因演算法選出適當之區位配置點，並藉由網絡效益指數-γ 指數及 α 指數，評估所提出之方案，最後並建議可依據實際使用情形訂定不同階段的公園綠地系統發展方針。Chaudhry *et al*. (2003) 應用基因演算法解決具有大尺度 (large-sized) 的限制條件 (constrained version) 之 P-中位數問題。研究中提供計算的經驗應用基因演算法在處理兩個不同數據上，結果顯示基因演算法所得到的結果相對優於現存的求解方法。

由以上文獻可知，過去國內外之大多數相關研究已證實基因演算法在處理屬於 NP-hard 大規模區位選擇問題的可行性及能有效的在短時間內求解出最佳解。過去的研究中大多將問題中的不確定性因素視為一固定常數，在現實環境考量下無法有效反映出真實的情況，因此在本研究中將考慮影響未來區位選擇的不確定性因素，將其導入區位選擇的模式中，如此較能反映出現實環境的問題。

鄰里公園設施最佳區位選擇模式建立

Bach (1980) 認為有關公共設施效率性與公平性之目標，補助性公共設施 (如公園、綠地) 在公平面追求個體空間阻隔及區位可及性均等，在效率面追求空間阻隔最小及系統整體區位可及性機會最大。而公平與效率目標之取捨必須從空間行為型態及設施的本質著眼，以符合公共利益之需求。鄰里公園設施無服務時效性的限制，但通常有明顯的「距離衰退」效果 (即設施和需求點之間的距離的增加，不僅會使使用設施的人減少，也會減少使用設施的頻率)，故應強調使用設施的近便性。本研究所提出的區位選擇準則將以公平性、效率性及經濟效益性為主，在公平性方面指所有需求均能獲得設施合理程度 (如在特定的距離或時間內) 的服務，其目標是在最大的公共福利下，提供最均等的服務，以實證地區內居民平均每次旅行長度必須在一定範圍內來衡量。而效率性方面，使固定數目的設施，在特定服務範圍 (距離或時間內)，能獲得的效益最大，或是系統的總成本最少，係以地區內居民總旅行長度 (越短越好) 為依據，因此設定其總加權旅行距離和為最小。在經濟效益性方面則是以為達成特定目標，使投入資源的成本最少或效益最大。研究中所提及的經濟效益性，主要是針對未來都市環境發展時新增公共設施為考量；公共設施的增設除了須考量公共設施不足的地區外，必須同時將現有的公共設施一併考量進去，避免服務範圍的重疊及虛設，在有限的開發成本下達到最大的經濟效益。

過去，在公園設施區位選擇的研究中，大都是將未來的人口需求及旅行距離視為一固定值，進而求解公園設施最佳區位，然其卻無法反應現實環境的問題。本研究將針對公園設施區位選擇模式的目標函數值，即需求點至服務設施點間的「總加權旅行距離」中，未來需求人口數及旅行距離視為具不確定性因素，應用蒙地卡羅模擬法進行不確定性因素的分析，進而求解在不確定性因素下公園設施最

佳區位的座落點，以下針對兩項不確定性因素分述如下。

(一) 需求人口推估模式建構

人口預測方法，簡言之就是以人口統計區過去的人口成長資料，利用數學統計方式予以延伸到未來 (范子華，1987；Kim and Masri, 1990)。本研究則主要是以人口規劃的角度應用迴歸模式中成長趨勢曲線法來預測各分區未來人口之需求量，進而以此推估公園設施最佳區位座落點。迴歸模式法基本上利用過去人口資料，配以適當迴歸方程式，藉採最小平方法 (method of least square) 求方程式之參數值，再應用此迴歸方程式做為預測未來人口之方法。而成長趨勢曲線法則是計算出最適合預測資料組的指數曲線並回傳描述該曲線公式矩陣，一般則較常應用於長期的預測項目中。本研究迴歸模式的建立方式係透過 Microsoft Excel 軟體中迴歸分析建立各鄰里的人口迴歸推估模式，其中在模式的建立上共有四種不同的趨勢／迴歸分析類型 (trend/regression types)，包括線性趨勢線 (linear trendline)、對數趨勢線 (logarithmic trendline)、多項式趨勢線 (polynomial trendline)、指數趨勢線 (exponential trendline)。

在本研究中，公園設施的增設取決於區內未來人口的需求量，因此預測未來人口數則成為公園區位選擇模式中的一個環節。然而人口推估在某種程度上的不確定情形是不可避免的，因此本研究除了利用過去的資料來推估未來人口之外，也藉由過去的人口資料得到其標準差 (該標準差主要是用以衡量觀測資料與其平均數之間的差異量數)，並利用風險分析模式-蒙地卡羅模擬法做為未來人口不確定性的風險評估方式。

(二) 旅行距離的不確定性考量

本研究中所提及的旅行距離為各鄰里居民步行至各公園間所行走距離，而影響旅行距離的因素為各地區的人行道服務水準。根據國內交通部運輸研究所 (2001) 於 2001 年所做的《臺灣地區公路容量手冊》中，分別對商業區、通勤區之水平步道服務水準定義，各服務水準等級劃分乃按行人平均佔有面積、平均速率、平均密度及流量等四個指標予量化，而獲得行人交通設施服務水準之不同等級標準表。而在探討臺中市西區各鄰里範圍其行人交通設施服務水準等級，須花費龐大的時間及人力調查，基於此因素考量，本研究針對上述行人交通設施服務水準等級，將臺中市西區行人交通設施服務水準等級，以隨機亂數的抽樣模擬方式，計算每分鐘旅行距離的不確定性 (以標準差表示)。結果顯示，每分鐘平均旅行距離為 56.4 公尺，而旅行距離的標準差為 12.5 公尺，其約為平均旅行距離的 20%。本研究以此數據做為因外在因素所產生的旅行距離之不確定性，並利用風險分析模式-蒙地卡羅模擬法做為旅行距離不確定性的風險評估方式。

(三) 鄰里公園區位選擇模式建立

一般在探討設施區位問題選擇時，大多以傳統 P-中位數法 (P-median) 來選定該設施區位，此乃屬於靜態性區位選擇模式。而在現今多元性的社會中，設施的需求量依各項社會環境變化的因素有所增減，且此些因素往往隱藏著潛在的不確定性，導致該設施無法發揮最大效用而直接影響到使用者的不便與困擾。本研究將以模擬最佳化之區位選擇模式做為建立公園設施區位選擇模式的主要參考依據，並以公平性、效率性及經濟效益性做為衡量區位選擇的準則，以求得在不確定性因素下的最佳公

園設施區位座落點。本研究在考慮上述公園區位選擇的準則下將以 Hakimi 於 1964 年提出的需求點至服務設施點間的「總加權旅行距離總和」最小為目標函數之概念，以求得在不確定性因素下公園設施最佳區位。

在建構本公園設施區位選擇模式之前，先說明模式之前提及假設條件如下：在求取效率性的區位選擇準則下，本模式將以「總加權旅行距離和」最小為目標函數，即以「需求量 X最短距離 X二元決策變數」之總和最小為目標函數。而在經濟效益性的區位選擇準則下，模式則須考量現有的公園設施 *j* 將對其中某一鄰里 *i* 提供服務。另在公平性的區位選擇準則下，旅行距離設定在必須於 600 公尺之服務範圍內以達公平性，其表示鄰里 *i* 與公園設施區位 *j* 間之最短距離必須小於等於 600 公尺。據此，本公園設施區位選擇模式之數學規劃模式及基本假設條件分述如下：

(1) 數學規劃模式

基本上此為一 0-1 整數規劃型態，模式為：

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} W_i \times D_{ij} \times X_{ij} \qquad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad , i = 1, 2, \ldots\ldots, \text{m} \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \le m \times Y_j \qquad , j = 1, 2, \ldots\ldots, \text{n} \qquad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} Y_j = P \qquad (4)$$

$$X_{ij} = 1 \text{ or } 0 \qquad , \forall i, j \qquad (5)$$

$$Y_j = 1 \text{ or } 0 \qquad , \forall j \qquad (6)$$

其中

W_i ：鄰里 *i* 之總需求量

D_{ij} ：鄰里 *i* 與公園設施區位 *j* 間之最短旅行距離，此距離必須在 600 公尺之服務範圍內

X_{ij} ：二元決策變數；如果鄰里 *i* 被公園設施 *j* 服務，則 X_{ij} 為 1；否則為 0

Y_j ：如果新設公園設施被設在設施區位點 *j*，則為 1；否則為 0

m ：鄰里總數

n ：公園可能區位總數

P ：公園設施設置之數目，為一外生變數

上述模式之式 (1) 可定義為其目標函數 (objective function)，其在求取效率性的區位選擇準則下，以「總加權旅行距離和」最小為目標函數。在經濟效益性的區位選擇準則下，式 (2) 表示鄰里 *i*

必須被公園設施 j 所服務，且只能被此一設施服務。式 (3) 表 X_{ij} 與 Y_j 兩 0-1 整數變數間之限制條件；意指所有可能之鄰里 i 若被某一公園設施 j 服務之加總必小於或等於需求節點數 (即鄰里總數 m) 乘上二元變數 Y_j (若新設公園設施被設在設施區位點 j，則為 1；否則為 0)。式 (4) 則為限制開放的設施基地數目只能有 P 個。式 (5) 及 (6) 表 X_{ij} 與 Y_j 兩整數限定為 0 與 1，其具有不可分割性。

(2) 基本假設

本模式有下列數項假設條件：

1) P 個設施均為同質，故各節點之鄰里需求以距離遠近當作選擇利用那一公園設施區位之準則。

2) 各節點之鄰里需求必須僅由一公園設施區位服務；而公園設施之服務容量是絕對足夠的。

3) 若分區規模過小，且鄰里需求均勻分布，可視為點，而令鄰里需求存在於點上。

4) 不同規模之公園設施對鄰里需求吸引沒有不同的影響。

5) 分區間旅行成本與距離成正比，因此總成本可以總距離表之。

本研究所建立之公園設施最佳區位選擇模式操作可分為下列數個不同階段說明之。第一階段乃為資料收集以及統計分析之過程。首先確立公園設施規劃之範圍，並針對該範圍之資料做彙整與統計。第二階段則為公園設施最佳區位選擇模式之相關數據建立。利用過去人口資料以求得各鄰里人口迴歸預測需求模式，並應用蒙地卡羅模擬法為未來人口推估的風險評估方式，依此做為規劃年期之人口推估模式以及新增公園數量之依據。第三階段則應用 RISK Optimizer 最佳化軟體以求取目標函數值最小，進而求解出公園設施最佳區位座落點。在處理含有不確定性因素的最佳化問題時，利用蒙地卡羅模擬法可以協助解決問題中的不確定性因素，同時採用基因演算法則可有效的縮短搜尋可行解的時間，此方法稱之為模擬最佳化，本研究係此利用模擬最佳化法解決公園設施區位選擇問題中的兩項可能難題，即面臨不確定性因素的處理以及在龐大的可行解空間中尋找解答。在不確定性因素考量之下公園設施最佳區位選擇模式，其主要是以公園設施區位的座標為主要變數，而規劃地區中未來人口及各鄰里到公園間的旅行距離為具有不確定性的風險因素。因此，模式中所設定之目標函數值將為鄰里中心座標與公園區位中心座標間距離乘上鄰里人口的總加權旅行距離和為最小以做為目標函數值，來尋找該目標最佳的設施區位點，以達到公園配置準則中符合效率性的目標，不確定性因素為各鄰里之未來人口數及各鄰里至其服務公園設施間之旅行距離，限制式則是以各公園配置準則中公平性及經濟效益性為限制條件。

求解方法

區位問題中 P-中位法已被證明是屬於 NP-Complete 問題 (Garey and Johnson, 1979)，亦即其求解演算之時間會隨著需求點的增加而呈指數 (exponential) 型態的成長。然而亦因而導致在實際應用問題上無法具有時效的提供近似最佳解給予規劃者，因此，當問題尺度增大時，其必須利用其他演算法以進行求解，以便在有限的時間內，得到一個近似最佳解的結果。而模擬最佳化即在處理此一含有不確定性因素的最佳化問題，其可解決問題中的不確定性因素並有效的縮短搜尋可行解的時間。利用模擬最佳化的方式可以解決區位問題中的兩項困難問題，即不確定性因素的處理以及龐大的可行解空間。因此，本研究乃採用蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 來模擬未來區位選擇中的不確定性因素，

同時再結合人工智慧的基因演算法 (GA) 以求解出最佳公共設施區位選擇的問題。以下將針對上述研究方法做一說明及探討。

基因演算法乃透過模擬自然界演化的過程，將問題轉變為類似基因的型態，其中包含了染色體中基因的架構方式、編碼，其次則依各個可行解的優劣程度給予不同的適存函數，適存函數愈高則所選擇出來的基因就愈多，再依照適存函數進行基因的選擇，以及複製 (reproduction)、交配 (crossover) 及突變 (mutation) 來產生新的群組，如此反覆進行世代進化的過程並產生新的物種。透過這種演進方式，其可保證得到較前次未進化前較好的染色體基因 (Cheng and Gen, 1997)。傳統上許多找最佳解的方法都是在搜尋空間的某一點，利用某些轉移規則 (transition rule)，決定出下一點應該往哪個方向移動，這種點對點 (point to point) 的搜尋法較容易陷入局部最佳解 (local optima)，基因演算法基本上是採用一種隨機平行式的搜尋方式 (randomized parallel search)，利用基因學的特性，經過不斷演化後在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答，這種搜尋最佳解的方式，可用在求解如最佳化這類擁有龐大求解空間的問題上。

蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 又稱風險分析模式 (Risk Analysis Model)，其乃是一種風險評估的方式 (Rubinstein, 1981; Law and Kelton, 1991; Sadoun , 2000)。通常是包括所有可變因素的分配、限制條件和結合全部可能值所得到的解答，其也是一種系統模擬方法 (阮文祥，2002)，在不斷重複的系統模擬過程中，每進行一次系統模擬的動作，變數中的機率分配函數就會以抽樣的方式，產生一個新值，此種抽出一個新值的動作，就是模擬風險的方式。蒙地卡羅模擬法係以一連串的重複實驗來求出風險變數的期望值與標準差，並以分析建構在模型內任一機率分配模式之隨機抽樣的數學統計方式，以創造出數百甚至上千種的結果 (outcomes)，是一種較接近現實的風險分析方法。

當一個問題包含了不確定性的因素時，傳統的解決方法可能就不適用。在此所謂之「傳統的方法」係指過去對於設施區位問題的研究，大都以靜態的 (static) 規劃方式來選擇設施區位 (常見的方法有 P-中位數法 (P-median)、P-中心法 (P-center) 及覆蓋性問題 (Covering Problem) 法)。雖然此傳統之求解方式，其會針對一般都市中公共性設施 (如公園、學校等) 不同性質及模式，而採用不同區位理論及模式操作來評選出最合適的設施區位點。然上述處理靜態性區位問題之傳統方法多因只要該設施區位符合最小服務範圍或最小距離要求即可，因之乃皆將模式中的許多變數以確定且固定的值引入模式中以求取解答，其並未考量在調查及蒐集此些變數值的資料過程中，極易產生某些不確定性的可能而導致上述變數值變得不確定且非固定。同時在傳統靜態區位模式中，規劃範圍內總需求量及其空間分布，一般均視為固定「常數」，至於設施的建設、遷移及使用成本等，亦常被視為固定不變，甚至完全不予考慮。此外，自 1990 年代後，各項設施區位選擇逐漸以多準則評估與數學規劃兩種方法來進行求解，多準則評估主要以分析單一區位設施為主；數學規劃法則考慮到多數設施區位分布問題，其討論的設施對象則以非緊急性設施最居多，其次是緊急性設施，再則是鄰避性設施。整體而言，區位求解模式已經趨向多目標、多區位的求解模式。例如，Owen and Daskin (1998) 曾言，前述區位模式雖然廣泛地應用在經濟學、工業工程、作業研究、都市計畫及地理學等領域，以解決許多實際的設施區位問題，但大部分區位模式「靜態」的本質，其需求量及其分布在模式中被視為固定常數，此嚴重限制了模式的實用價值。亦由於上述傳統的方法無法將不確定性的因素引入某一個模式，然後求取解答，為克服此問題，其中一可行方式，即為將假設的固定值改變成機率分配產生的值，然後再求出所有可

能的需求組合，以產生最佳的生產方式。蒙地卡羅模擬法是屬於不確定性分析機率理論的方法之一，在模式架構考慮參數不確定性的情況下，其結果便是在不確定性環境中有考量到風險的存在而求出的，所以蒙地卡羅模擬法可以用在包含有不確定性因素的問題求解過程中。一般而言，蒙地卡羅模擬法可視為同時考量所有計畫相關變數之機率分配的情境分析 (scenario analysis)。在進行蒙地卡羅模擬法時，首先確認模擬變數的範圍，並決定各變數之最適機率分配 (為一客觀分配)，依該變數之機率分配，以隨機抽樣 (random sampling) 方式抽取各變數數值，結合所選取變數之數值，代入目標式中計算目標函數值的平均值、標準差及變異數，並可藉計算所得出之數值組合，向回推出模擬結果的機率分配模型。然而所謂最適機率為可依過去經驗或是歷史資料為基礎而決定的機率，然有時客觀機率無法認定，其原因可能是資料太少，或是其他原因，此時就必須憑主觀的認定以估計其機率分配矣。本文根據上述之研究方法的提出，將採用模擬最佳化 (Simulation Optimization) 作為解決在不確定性因素考量下的都市鄰里公園區位選擇之問題探討。而模擬最佳化是一種結合系統模擬與最佳化的方法。系統模擬是指在含有風險的決策規劃中，進行各種變數值及限制式的組合，以找出符合系統條件的決策方法 (Kahneman and Tversky, 1982)，其所得到的結果，比之前將風險當作是確定因素的方法較為理想，亦即更能反映出現實的狀況。

上述所提出在處理一個含有不確定性因素的最佳化問題時，利用蒙地卡羅模擬法可以解決問題中的不確定性因素。然而，當把不確定性因素風險的各種情況列入考慮時，往往會使得所要規劃問題的解空間大小急遽成長，導致尋求最佳解變成是一件相當費時 (time consuming) 的工作。而基因演算法能夠解決擁有大規模組合的最佳化問題，可以有效的縮短搜尋可行解的時間。結合蒙地卡羅模擬法和基因演算法的方式以求解最佳化問題時，以隨機的方式選取出第一組變數，接著以蒙地卡羅模擬法抽樣分析出各個不確定性因素的值，利用基因演算法的運算，可使目標函數值快速的往期望的解空間方向去模擬，求出符合條件的變數組合以獲得最佳的目標值函數值，解決含有不確定性因素的最佳化問題，此方法即為模擬最佳化 (Anacleto and Kirner, 1997; Putro *et al*., 1999)。

前述利用模擬最佳化可以解決含有不確定性因素的最佳化問題中之不確定性因素的處理及龐大的可行解空間。因此，在求解最佳設施區位此類具有許多不確定性因素、限制條件及擁有大量的可行解空間時，可應用模擬最佳化的方法來解決這樣的問題。本研究應用 RISKOptimizer 最佳化軟體進行求解，其能結合蒙地卡羅模擬法及基因演算法進行最佳化的問題求解。而 RISKOptimizer 最佳化軟體之最佳化求解進行步驟和其運算流程，則可表如圖 1 所示。其各步驟內容如下所述：

步驟 1. 決定變數、目標函數、不確定性因素和限制條件。首先設定目標函數的公式和模擬完成所要求算的期望值 (平均值、中位數和標準差等)，接著確定主要變數值的範圍和不確定性因素所屬的分配，最後則是設定限制式。

步驟 2. 產生一組變數值。此變數值利用隨機的方式來產生，在選出變數值之後，並預設為基因演算法第一代母體，使這一母體之每一染色體相對代表基因演算，當選擇下次可調整變數時，模擬最佳化機制將以目標函數的統計資料為基礎選擇更好的可調整變量。

步驟 3. 在產生一組可調整變數後，接著就要開始利用蒙地卡羅模擬法來處理不確定性因素。其中的模擬次數可預設為固定或交由系統至收斂為止始結束，及每一次的模擬結束也是根據規劃者的需求來預設次數，每次的重複計算是指從前面步驟中所設定的分配進行抽樣，然後配合選取的變數以求

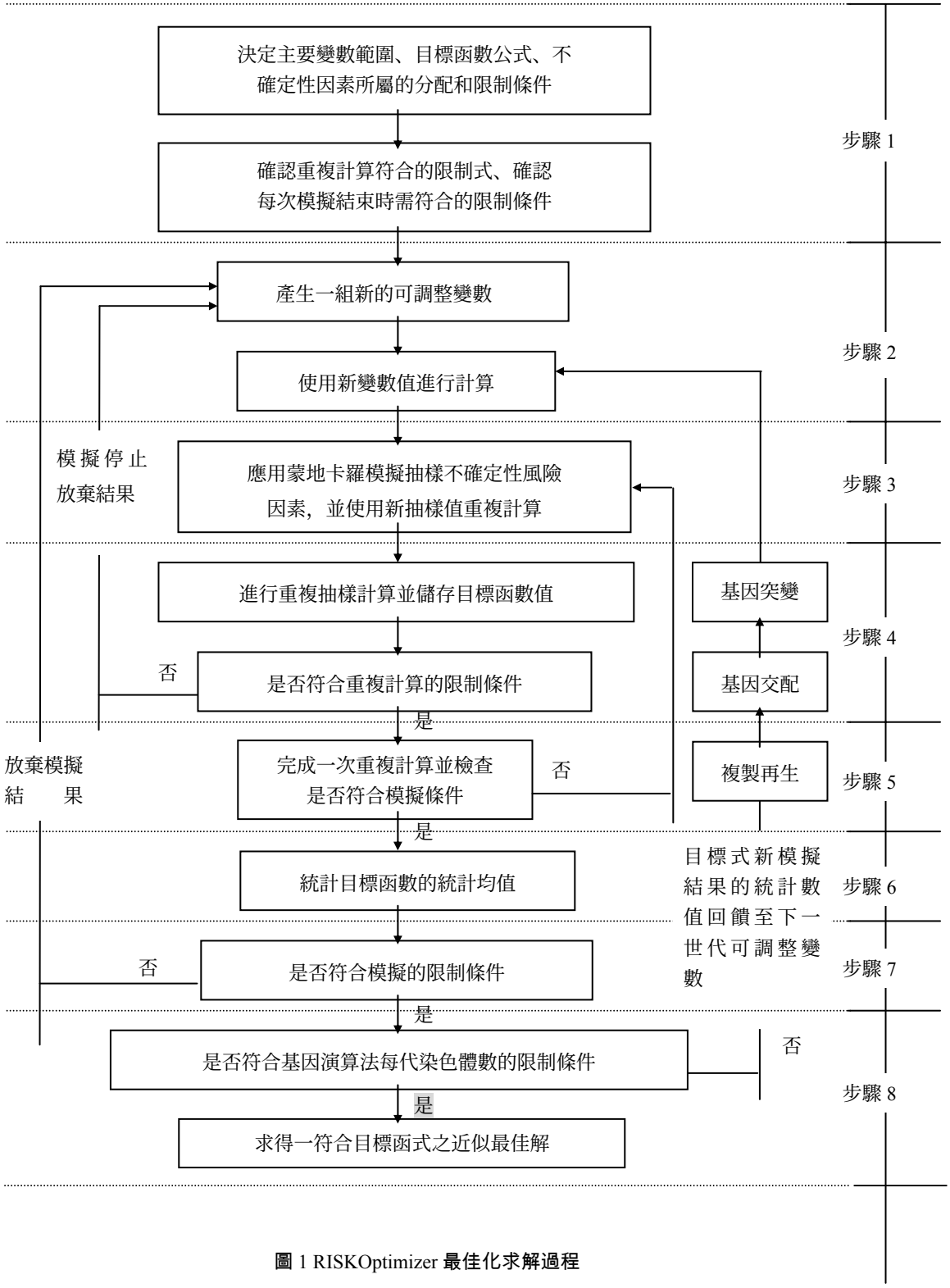


圖 1 RISKOptimizer 最佳化求解過程

取出目標函數值。

步驟 4. 每進行一次重複計算，就要檢查是否符合有關的限制式，如果不符合的話就要跳回步驟 2 再進行一次變數值選取的動作。

步驟 5. 每完成一次重複計算，就要檢查是否已完成一次模擬，即步驟三中所提到的重複計算次數。如果未完成的話就要跳回步驟 3 再進行一次抽樣的動作，直到完成符合設定的次數或收斂為止。

步驟 6. 完成一次模擬，接著計算目標函數的統計值。

步驟 7. 檢查目標函數值的統計均值是否符合模擬的限制 (每代染色體數)，假如不符合的話則跳至步驟 2 重新進行變數值選取的動作。

步驟 8. 本步驟即檢查模擬最佳化的停止條件，若不符合停止條件，可依據這一代每次模擬目標函數均值，選出多個最適均值，當做基因演算法次一代母體的染色體，按著跳回步驟 2 進行模擬運作，一直不斷重複運作，直到找出的值是最佳值且符合模擬最佳化的停止條件為止。

實例研究結果分析與探討

本研究將針對公園設施區位選擇問題，以模擬最佳化區位選擇模式進行實證研究，求解 2006 年臺中市新增設鄰里公園的最佳區位之配置。根據臺中市地理資訊系統 (GIS) 資料庫可得知，目前西區已開發設置的公園 (公 65 美術公園隸屬於臺灣省美術公園，其定位應屬於全市性，本研究不將其列入西區之鄰里公園來做考量) 共有 16 處總共約 11.27 公頃，根據《都市計畫通盤檢討實施辦法》第十六條第二款規定：「…閭鄰公園每一計畫處所最小面積不得小於 0.5 公頃…。」因此在本研究中公園綠地面積規模至少達到 0.5 公頃以上，方視為鄰里公園。而本研究亦將利用現況的 9 處鄰里公園做為現況之基本條件。在此需說明的是，由於本文所探討之研究對象乃以都市之鄰里公園為對象，其原因即在於當進行對於不同候選方案 (都市鄰里公園) 之評選時，應以同質性 (homogeneous) 的評比對象為要。因此，在本研究範圍之擬定及假設時，方限定僅以可能設立之都市鄰里公園為區位評選之對象，以免造成非同質性之選擇問題，其將不易 (或不能) 進行比較選擇之。職是之故，本文在此實例分析研究中，乃將在研究範圍內之全市性的公園定位為屬於市級之公園，其所服務之主要目的及範圍亦乃供全市居民特定目的下的使用 (例如遇週末假日時才較有可能前往休憩之公園) ；而鄰里公園相對而言，則為居民平日較可任意就近前往使用之公共設施。因此，本研究方將定位屬於全市性的美術公園於候選替代方案 (公園) 中排除，而未將其列入西區之鄰里公園以做考量之對象，此亦應不致影響針對西區鄰里公園區位選擇的正確性及適切性矣。另需一提的是，本文雖在第三節所建立之鄰里公園設施最佳區位選擇模式中，將 D_{ij} 定義為旅行距離；然在本實例研究中，則將各分區間總距離以空間直線距離假定之。其原因在於，雖在實際情況下應以路徑旅行距離計算之，然考量本模式 (Hakimi) 係以總需求點對服務設施點之總加權旅行距離總和為目標函數運算，故而在此實例研究中乃採用空間直線距離為之。

為求說明上之便利，本研究將上述公園重新編號，而各鄰里公園面積及相對座標則如表 1 所示。

表 1 臺中市西區 0.5 公頃以上鄰里公園及相對座標

編號	都市計畫名稱	面積	相對座標	
A	公 77	1.02	(6, 31.2)	東興公園
B	公 78	2.28	(2.7, 21.6)	萬壽公園
C	公 114	0.68	(19.4, 9.6)	樂群公園
D	公 58	0.56	(12.2, 30.7)	忠明公園
E	公 50	2.28	(15.9, 26)	-
F	公 43	0.93	(26.9, 11)	居仁運動公園
G	公 46	0.77	(22, 6.9)	-
H	公 115	0.59	(20.5, 8.7)	大全公園
I	公 108	0.51	(10.2, 26.6)	公益公園

根據 2001 年以及 2002 年臺中市統計要覽指出，臺中市西區的人口呈現逐年快速成長中 (成長約 4%)。根據 2001 年底政府相關統計資料顯示, 臺中市西區共計有 31 里 613 鄰, 戶數 38,033, 截至 2001 年底西區居住人口為 113,768 人，其面積 570.4 公頃，其土地開發率約 89.45%，顯示已呈現高度開發的情況，因此日後發展應往提升生活品質方向著手，多加提供公共設施。有鑑於此，臺中市西區最能符合本研究所探討課題條件，而公園設施區位的選擇應以整體環境做考量。

根據目前西區戶政事務所人口資料統計顯示, 西區共包含有 31 個鄰里如圖 2 所示, 其中的公正、土庫、吉龍、中興、中民、公益、民龍、昇平、公民、公館、民生等 11 個鄰里的人口數呈現成長狀況, 其中在 11 個鄰里中又以公正、土庫、吉龍 3 個鄰里成長較為快速, 而三民、元龍、平和、平民、福壽、藍興、雲龍、忠明、東昇、平龍、福龍、永龍、忠誠、光明、廣民、和龍、後龍、安龍、利民、靖龍里等 20 個鄰里的人口數呈現減少的趨勢。

另在都市計畫通盤檢討中，公園的需求量是由計畫區內的人口數量來計算，而公園的足夠與否則是由區內需求量與公園綠地提供量來做檢討。本研究透過迴歸模式的分析, 推估 2006 年臺中市西區人口有 119,994 人，根據《都市計畫通盤檢討實施辦法》第十六條，其所須提供公園綠地面積為 20.25 公頃，相較於現況則缺少了 8.24 公頃，在鄰里公園設計時，可以依遊戲設施面積標準建議訂定其面積標準，由於本研究重點在於公園配置，因此不另外詳細探討里鄰公園最適規模，而直接參考鄰里公園相關文獻, 將里鄰公園面積標準訂為每處 1.5-2 公頃。依此標準, 則臺中市西區不足公園面積 8.24 公頃, 相當於不足 5 座鄰里公園。

本研究透過迴歸分析建立各鄰里的人口迴歸推估模式，其中模式的建立上共有四種不同的迴歸分析類型，包括線性趨勢線、對數趨勢線、多項式趨勢線及指數趨勢線。應用以上迴歸分析建立各鄰里人口迴歸推估方程式，為了增加未來人口迴歸預測模式的可信度，因此以統計檢定來檢核各鄰里未來人口迴歸方程式是必要的，同時也可使其在預估人口數時能更為精確，本研究所採用的檢定方式為 R-平方值 (R-square, R^2)，其通常是指用來衡量趨勢線的可靠性，當 R^2 值越接近 1 時，表示解釋程度越高。為提高該預測迴歸模式之解釋程度，本研究將採用 R^2 值越接近 1 之方程式做為預估為來人口數之迴歸模式。經由各鄰里不同的迴歸方程式，即可推估實證研究地區中各鄰里的未來人口數。

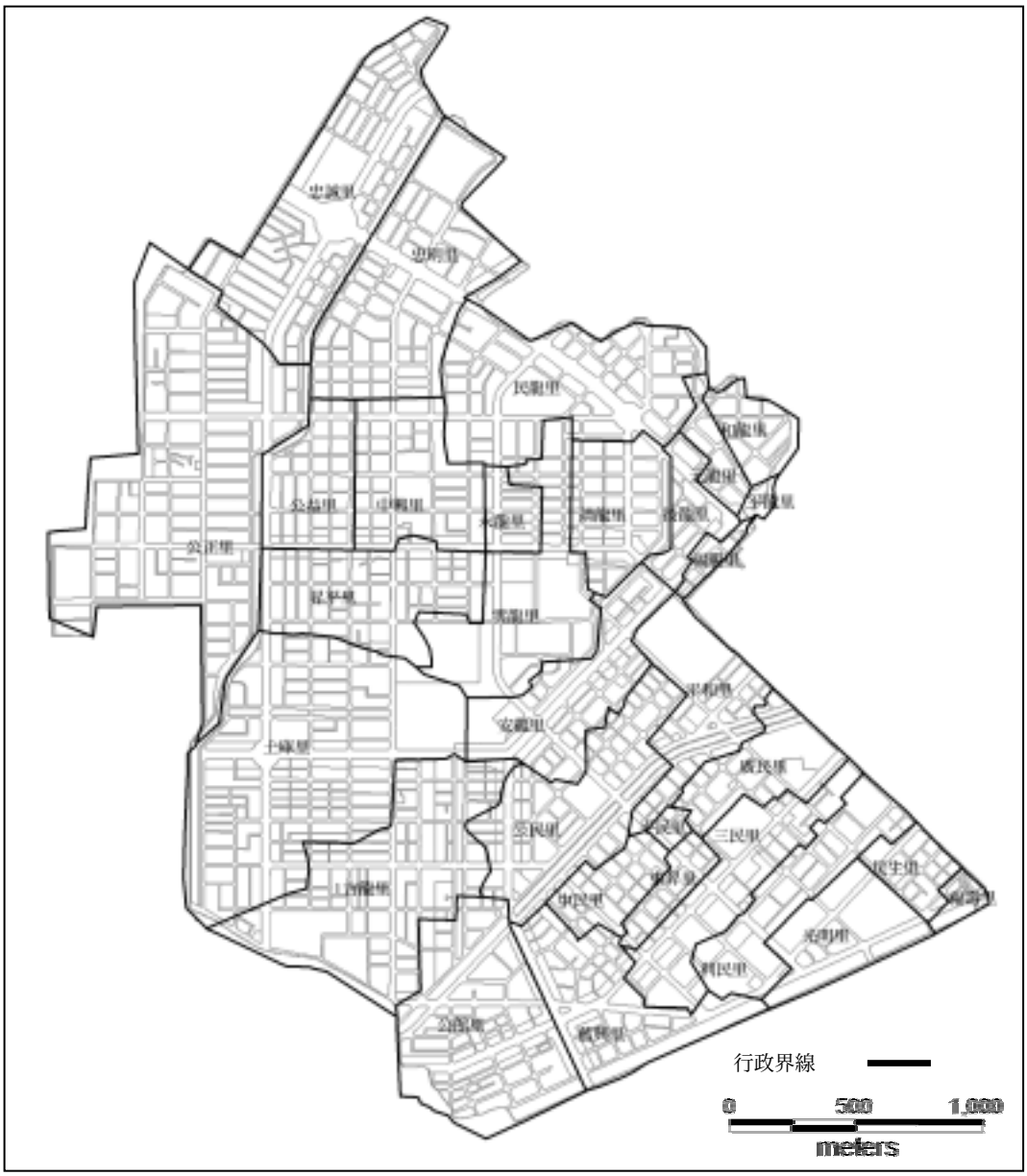


圖 2 實證研究區域範圍圖

本研究以 5 年通盤檢討為規劃年期，經由未來人口迴歸模式推估規劃年期的人口數量，依據《都市計畫定期通盤檢討實施辦法》第三章公共設施用地之檢討標準第十六條遊憩設施用地檢討標準，便可估算出預計設置的公園容量。而由人口迴歸模式推估得知 2006 年規劃年期推估西區總人口數為 119,994 人，經過計算其公園預估需求量為 20.25 公頃，目前西區公園約 12.01 公頃，預估至規劃年期 2006 年西區公園需求將需再增設 8.24 公頃。

都市計畫通盤檢討前應先進行計畫地區之基本調查及分析推計，做為通盤檢討之基礎，因此本研究藉由過去 11 年人口資料，推估未來西區在 2006 年的人口總數，進而探討所不足的公園設施數量，並且應用模擬最佳化公園設施區位選擇模式，求解所新增的公園設施最佳區位座落點。經由上述分析整理後，本研究則以臺中市西區 31 個鄰里做為實證研究的地區，並且針對該實證研究地區相關資料作了完整的收集及分析整理動作，此階段將以西區 2006 年推估資料來求解公園設施區位最佳座落點。在此階段的實證研究部分，須對於規劃條件做限制，其目的是在符合現行的法規與現況條件。

公園設施區位選擇問題中，未來人口數的多寡及旅行距離的不確定性是影響區位選擇的二項因素，本研究以統計學中較常使用的常態分配 (normal distribution) 做為其機率分配，將此分配函數應用於未來人口數預估及旅行距離推估的不確定性處理上。在本研究中，公園設施的增設取決於區內未來人口的需求量，因此預測未來人口數則成為公園區位選擇模式中的一個環節。然而人口推估在某種程度上的不確定情形是不可避免的，本文中關於人口預測的部份是利用西區各鄰里 1991 至 2001 年的過去 11 年 (132 個月) 的人口資料做為建立各鄰里未來人口迴歸推估模式的主要依據，推估未來西區在 2006 年的人口總數。一般言之，透過迴歸分析模式以建立各鄰里的人口迴歸推估模式，而迴歸模式之建立的前提條件乃假設所輸入的資料呈一常態分配矣。因此本研究除了利用過去的資料來推估未來人口之外，也藉由過去的人口資料得到其標準差 (該標準差主要是用以衡量觀測資料與其平均數之間的差異量數)，並利用風險分析模式－蒙地卡羅模擬法做為未來人口不確定性的風險評估方式。另外本研究中所提及的旅行距離則為各鄰里居民步行至各公園間所行走之空間直線距離，而影響旅行距離的因素為各地區的人行道服務水準以及一般人正常之步行步伐 (依據交通部運輸研究所 (1986) 之「停車場規劃手冊」，此步行步伐為 0.75 公尺) 為推算及計算之依據。若以一般人走路之步伐推算出其步行之空間直線距離而言，過去研究皆依中央極限定理 (Central Limit Theorem) 以推估其旅行距離，而其機率分配亦呈現為常態分配矣。另根據國內交通部運輸研究所於 2001 年所做的《臺灣地區公路容量手冊》中，分別對商業區、通勤區之水平步道服務水準定義，各服務水準等級劃分乃按行人平均佔有面積、平均速率、平均密度及流量等四個指標予量化，而獲得行人交通設施服務水準之不同等級標準表。而在探討臺中市西區各鄰里範圍其行人交通設施服務水準等級，須花費龐大的時間及人力調查，基於此因素考量，本研究針對上述行人交通設施服務水準等級，將臺中市西區行人交通設施服務水準等級，以隨機亂數的抽樣模擬方式，計算每分鐘旅行距離的不確定性 (以標準差表示)。結果顯示，每分鐘平均旅行距離為 56.4 公尺，而旅行距離的標準差為 12.5 公尺，其約為平均旅行距離的 20%。本研究以此數據做為因外在因素所產生的旅行距離之不確定性，並利用風險分析模式－蒙地卡羅模擬法做為旅行距離不確定性的風險評估方式。在未來人口數的風險分析上，是分析過去 11 年的人口成長資料推估 2006 年人口數量做為研究資料，並且求得過去人口變化的標準差，利用 RISKOptimizer 最佳化軟體中 RISKNormal (mean, standard deviation) 的機率分配函數方式來模擬未來人口數的風險預估值。而在旅行距離的風險分析上，則是以各鄰里與各公園間之最短距離做為模式中的平均旅行距離，而最短距離的 20%做為旅行距離的標準差，並且也利用 RISKNormal (mean, standard deviation) 的機率分配函數方式進行模擬分析。在每一次的模擬過程中，設定對各不確定因素分別做 1,000 次的抽樣，透過對各不確定因素的機率分配函數做為不確定因素的風險分析，並計算區位選擇模式的目標函數值，做為求解公園設施最佳區位的依據。

模擬最佳化公園設施區位選擇模式中，須針對基因演算法其演算程序中各項參數值做設定。適存函數 (fitness function) 即目標函數值，在本研究中區位的選擇是以效率性為其一選擇準則，因此將其目標函數值 (總加權旅行距離) 設定為最小化 (minimize)。至於母體大小即染色體數，其數量取決於問題的類型，目前仍有許多相關研究在探討不同類型問題所需設定的染色體數，通常大約設定在 30 至 200 個之間，本研究以染色體個數 100 個來做設定。而主要變數即公園座標的產生方式則是透過 RISKOptimizer 最佳化軟體中的隨機方式來產生。基因演算法主要演化過程中複製再生 (Reproduction) 則是透過適存函數值來決定染色體的淘汰與否，而交配率 (Crossover rate) 及突變率 (Mutation rate)，這些運算子的主要目的是用來做為舊一代 (old generation) 族群以產生新一代 (new generation) 族群，本研究將交配率設為 80%，而突變率設為 5%。而根據基因演算法的相關文獻探討，染色體個數、交配率、突變率並沒有絕對的最佳值，不同的範例模式亦可能有不同的參數組合。

在整個求解過程中，逐一輸入各項參數設定，再應用 RISKOptimizer 最佳化軟體進行求解。透過模擬最佳化區位選擇模式求解的最佳區位相關數據及結果顯示，全部演算的過程共歷時約 30 個小時，總共經過 20,131 次的模擬，其中有 10,024 次模擬符合最佳化之限制條件，在符合限制條件中第 376 次模擬運算時得到其目標函數「總加權旅行距離總和」之最小值 334271.82。因此，在未來 2006 年臺中市西區人口條件及都市發展情況下，以效率、公平及經濟效益為規劃原則，臺中市西區所需新增設的 5 座公園設施 (即編號 J~N) 的最佳區位分佈及原有鄰里公園設施 (編號 A~I) 區位如圖 3 所示。

應用 RISKOptimizer 求解之過程，其記錄每一筆模擬的次數、時間、模擬結果目標函數值、輸出標準差、輸出最小值及輸出最大值，並將每一次模擬結果的目標函數值更優於之前所模擬結果的目標函數值整理出，在模擬次數之第 2,799 次中找到一較佳解，目標函數為 334999.71，而後再經過 83 次的模擬後於第 2,882 次時找到另一較之前所求得解更優之解，目標函數為 334271.82 (即總加權旅行距離總和之最小值)，自此之後模式則趨近於一水平直線，呈現出收斂的狀態，再經過約 9,648 次有效的模擬過中，依舊沒有計算出較之前所找到的解更符合目標函數值的條件，若將演算次數再為提升，雖有可能會找到更佳的解，然在考慮時間成本及實際的應用層面上，由此模擬出之最佳化公園設施區位選擇模式所運算出的結果應可視為本案例之近似最佳解矣。

在風險最佳化 RISKOptimizer 軟體求解過程中，透過基因演算法進行不斷演化過程，可以有效的縮短搜尋可行解的時間，並且在擁有龐大的可行解空間的最佳化問題中經過不斷演化後可在搜尋空間找到一個最佳或近似的解答。由圖 4 可看出基因演算法可以在龐大的搜尋空間中於短時間內即找到近似最佳解，並達到收斂。

過去區位選擇問題大多是以傳統 P-中位數法求解，其乃是於眾多預選設施點中尋求與需求點之間總距離最短者，該設施點即為較佳的區位設置座落點。然而土地使用分區經常是由規劃者的主觀引導下劃設而成，在傳統區位劃設觀念中，設施的座落點則必須依循該土地使用型式來設立，也因為如此幾年過後，所尋求出來的設施點往往皆未能符合當時現況的需求，且較不具客觀性。模擬最佳化區位選擇模式是以整體研究地區來做考量而非預選點所求解出的最佳設施座標點，若假設此設施點恰座落於現有公園預選點之土地使用區內，則為最理想狀態；然目前所求出來的公園設施最佳區位點大多座落於不同性質的土地上，也因為如此，未來在作通盤檢討時就可審慎評估是否要變更土地使用或徵收它筆土地，以使公園設施能夠在客觀條件下所認定之最佳座標點座落，以提高該設施的使用效能。在



圖 3　2006 年臺中市西區新增設 5 座公園設施最佳區位

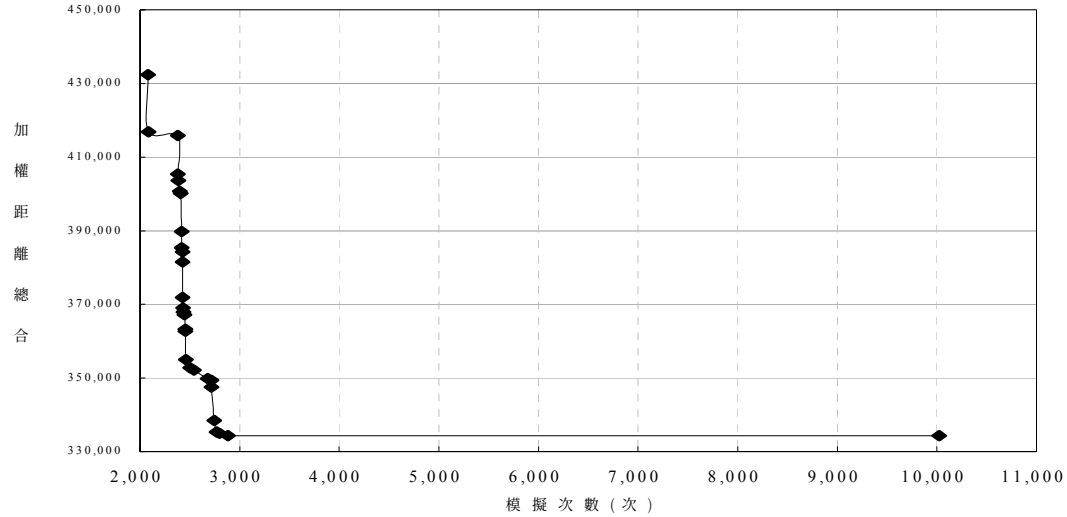


圖 4 求解目標函數「總加權旅行距離和」過程收斂曲線

服務範圍的考量上，由於在規劃的過程中必須考慮現有鄰里公園的分佈，而非將其摒除在外，以達到整體的經濟效益考量，因此有些現有的鄰里公園依舊會造成資源分佈的浪費及不均的情況。在風險最佳化的求解過程中，為達公平、效率及經濟效益的規劃準則，已將相關的限制條件納入考量，因此模式求解出的區位在設施服務範圍方面也是最佳考量及依據，據此可以服務到整個規劃區。

結論與建議

過去對於都市中鄰里公園的設置，大多是由主管機關規劃者以其直覺判斷來從事公園設施區位的選定，或是都市計畫劃設過程中所留下的畸零地，而這樣的決策規劃過程，無法符合現代多元化的社會需求，更加無法提供最適當設置區位。本研究則利用模擬最佳化的概念，結合基因演算法及蒙地卡羅模擬法，建構出一套在具有不確定性的因素及考量現實環境中公平性、效率性及經濟效益性的規劃準則下公園設施區位最佳選擇模式。此區位選擇模式不但可以解決含有不確定性的區位問題，且可提供最佳的設施區位點來輔助規劃者做更嚴密的考量。本研究之結論可歸納如下數點：

1. 本研究應用迴歸模式做為未來人口數 (需求量) 的推估模式，並以蒙地卡羅模擬法進行未來人口數及旅行距離風險評估分析，也同時考量現實社會公平性、效率性及經濟效益性的規劃準則，使模擬最佳化公園設施區位選擇模式更符合實質上的規劃作用，並提供規劃者做為區位選擇的參考依據。

2. 模擬最佳化區位選擇模式改進了傳統區位選擇模式，將現實及未來預測所含之不確定因素透過系統模擬的方式進行模擬研究，並結合基因演算法及蒙地卡羅模擬法；在具有不確定性因素的情況下及擁有龐大空間解的區位問題中很快的找到最佳的區位座落點。

3. 本文主要係以蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo Simulation) 來模擬未來區位選擇中不確定性之因素，再透過人工智慧之基因演算法 (Genetic Algorithms, GA) 來求解公共設施區位最佳選擇的問題。雖然一般的數學規劃亦有可能處理參數不明確之問題，然此類問題乃屬 NP-Complete 問題，亦即其求解

演算之時間會隨著需求點的增加而呈指數型態的成長。因此，當問題尺度 (scale) 增大時，其必須利用其他演算法以進行求解，以便在有限的時間內，得到一個近似最佳解的結果。此亦為本研究之大規模的區位配置問題中基因演算法可提供比其他傳統的求解方法更好的解答。

4. 過去處理靜態性區位問題之傳統方法多因只要該設施區位符合最小服務範圍或最小距離要求即可，因之乃皆將模式中的許多變數以確定且固定的值引入模式中以求取解答，其並未考量在調查及蒐集此些變數值的資料過程中，極易產生某些不確定性的可能而導致上述變數值變得不確定且非固定。本研究針對此點，結合區位理論中 P-中位數法的概念，建構出一個在不確定性因素下公園設施最佳區位選擇的基本模式。

5. 本研究在實證研究上，乃考慮旅行距離的不確定性因素下，經由模擬最佳化區位選擇模式求解出的最佳設施座標點，其大多座落於不同性質的土地上。因之，當在進行都市計劃通盤檢討時即可審慎評估是否要變更土地使用或徵收它筆土地，以使公園設施能夠在最佳座標點座落。本模式考量各個公園所服務的鄰里之人口總數，並配合相關法規及現況條件，亦可以針對各個公園對其面積大小有所建議，此可提供規劃者對於都市地區整體規劃的問題有更完善的考量。

6. 根據基因演算法的特性，實證研究的目標函數皆已達到一收斂的狀態，在時間及其他因素的考量下，再經過多次的模擬之後亦未求得更佳的解答，因此可視此為本實證研究的近似最佳解。

至於本研究未來的建議方向，可分述如下：

1. 本研究之公園設施區位模式所建立之目標函數乃為一單目標規劃模式，未來可在不確定風險因素下，考量其他可能之多目標規劃模式，以達到符合現實情況之公園設施區位選擇時的考量情況。此外模式中是以人口及旅行距離做為不確定風險因素的考量，未來亦可探討更多可能之不確定性因素於本模式之建構中，以充分反映現實環境之狀況。

2. 本文建立此鄰里公園區位選擇模式之主要目的，即是提供政府相部門或相關決策者於通盤檢討或者正著手規劃新的設施區位時的參考或建議。然其有可能出現所尋找出的公園區區位並不在公園預定用地上，此結果乃是因本研究是以規劃區內所有可能的座標點做為預選點並從中找出在數學模式中的近似最佳解化解答，也因此會得到所尋找出的公園區位點並不在原先都市計畫的公園預定用地上。此外，就實際面而言，由於都市快速變遷或其他社會環境變化因素，若透過數學規劃模式所求得之公園區位點不在公園預定用地上，則一般亦可建議採用次優之目標函數值解，亦即由目標函數值次小者之解答做為次佳之公園區位選擇點矣。

3. 本研究乃利用過去的資料以推估未來人口數，並藉由過去的人口資料得到其標準差 (該標準差主要是用以衡量觀測資料與其平均數之間的差異量數)。而針對旅行距離則為各鄰里居民步行至各公園間所行走之空間直線距離為推算及計算之依據。上述變項在本研究中皆假設其機率分配皆呈常態分配 (normal distribution)。由於本研究所應用之風險分析模式－蒙地卡羅模擬法，其可處理各種可能的機率分配之輸入變項，因此建議可在未來的研究加入其他可能存在的不確定性風險之評估。

4. 本研究模式中使用歐幾里得原理 (兩點間直線距離) 求得最短距離，在實際應用上會因其他因素而增加旅行之成本。建議未來可在旅行時間或距離的計算上以實際之兩點間路徑旅行距離，並配合蒙地卡羅模擬法進行風險分析之，以使此模式更為完善。而在限制式部份亦可針對實際需要以增加其他相關之限制條件，如各鄰里公園面積及大小之容量等，唯此將產生求解時間會因限制式而增加而有

所增加。

5. 為達到更為廣泛性之應用，未來可應用本研究所提出之方法及理論更進一步探討都市中其他緊急、非緊急或鄰避等公共設施區位選擇之課題研究，並且在未來可將都市計畫中各種分區使用種類同時納入考量，以達到土地使用合理的整體規劃原則。

引用文獻

交通部運輸研究所 (2001) 2001 **年臺灣地區公路容量手冊**，臺北：交通部運輸研究所。

交通部運輸研究所 (1986) **停車場規劃手冊**，臺北：交通部運輸研究所。

阮文祥 (2002) **行銷活動規劃最佳化**，元智大學資訊管理研究所碩士論文。

林楨家、馮正民 (1998) 都市計畫草圖替選方案分析模式之實例研究，**交通運輸**，17: 139-162。

范子華 (1987) 人口推計之方法，**主計月報**，36 (1): 35-41。

桂家悌 (2002) **公園綠地系統區位分佈模式之研究**，國立中興大學園藝研究所碩士論文。

曾國雄、邱裕鈞、許書耕 (1997) 主線欄柵式收費站最佳區位遺傳演算尋優法與逐步尋優法之比較分析，**中國土木水利工程學刊**，9 (1): 171-178。

Anacleto, J. C. and Kirner, C. (1997) A new approach for genetic algorithm as a support to the simulation of complex systems. *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Piscataway, NJ: IEEE, 2: 1251-1256.

Bach, L. (1980) Location models for systems of private and public facility based on concepts of accessibility and access opportunity, *Environment and Planning*, 12: 301-320.

Chaudhry, S. S., He, S. and Chaudhry, P. E. (2003) Solving a class of facility location problems using genetic algorithms, *Expert Systems*, 20 (2): 86-91.

Cheng, R. and Gen, M. (1997) Parallel machine scheduling problems using Memetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 33 (3-4): 761-764.

Davila, E. and Chang, N. (2005) Sustainable pattern analysis of a publicly owned material recovery facility in a fast-growing urban setting under uncertainty, *Journal of Environmental Management*, 75: 337–351.

Dippon, J. (1998) Globally convergent stochastic optimization with optimal asymptotic distribution, *Journal of Applied Probability*, 353 (2): 395–402.

Dvorett, J. (1999) *Compatibility-Based Genetic Algorithm: A New Approach to the P-Median Problem*, Evanston, IL: Department of Industrial Engineering and Management Sciences Northwestern University.

Garey, M. R. and Johnson, D. S. (1979) *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, New York: W. H. Freeman and Co..

Ghalia, B. M. and Wang, P. P. (2000) Intelligent system to support judgmental business forecasting: the case of estimating hotel room demand, *Fuzzy Systems, IEEE Transactions*, 8 (4): 380-397.

Hakimi, S. L. (1964) Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph,

Operations Research, 12: 450-459.

Houck, C. R., Joines, J. A. and Kay, M. G. (1996) Comparison of genetic algorithms, random restart and two-opt switching for solving large location-allocation problems, *Computers and Operations Research*, 23 (6): 587-596.

Huang, Y. F., Baetz, B. W., Huang, G. H. and Liu, L. (2002) Violation analysis for solid waste management systems: an interval fuzzy programming approach, *Journal of Environmental Management*, 65: 431–446.

Jaramillo, J. H., Bhadury, J. and Batta, R. (2002) On the use of genetic algorithms to solve location problem, *Computer and Operation Research*, 29: 761-779.

Kahneman, D. and Tversky, A. (1982) *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*, New York: Cambridge University Press.

Kim, S. and Masri, S. (1990) Maternal education child immunization, *Demography*, 27 (3): 447-455.

Law, A. M. and Kelton, W. D. (1991) *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., New York: McGraw Hill.

Moon, I. D., and Chaudhry, S. S. (1984) An analysis of network location problems with distance constraints, *Management Science*, 30 (3): 290-307.

Owen, S. H. and Daskin, M. S. (1998) Strategic facility location: a review, *European Journal of* Operational *Research*, 111: 423-447.

Putro, U. S., Kijima, K. and Takahashi, S. (1999) Simulation approach to learning problem in hypergame situation by genetic algorithm. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Piscataway, NJ: IEEE, 4: 260-265.

Rubinstein, R. Y. (1981) *Simulation and the Monte Carlo Method*, New York: John Wiley and Sons.

Sadoun, B. (2000) Applied system simulation: a review study, *Information Sciences*, 124 (1-4): 173-192.

Sahinidis, N. V. (2004) Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities, *Computers and Chemical Engineering*, 28: 971-983.

Sakalauskas, L. L. (2002) Nonlinear stochastic programming by Monte-Carlo estimators, *European Journal of Operational Research*, 137: 558-573.

Wesolowasky, G. O. (1973) Dynamic facility location, *Management Science*, 19: 1241-1247.

95 年 3 月 8 日　收稿
95 年 6 月 26 日　修正
95 年 8 月 28 日　接受