

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 都市計畫草圖替選方案分析模式之改進

The Improvement of Sketch Layout Model for Urban Planning

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC89-2415-H-009-001-SSS

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：馮正民教授

研究人員：林楨家

處理方式：可立即對外提供參考

執行單位：國立交通大學交通運輸研究所

中華民國 八十九 年 七 月

## 摘 要

都市計畫草圖的作用在表現實質計畫的配置草稿，過去草圖的產生過程一直被視為是黑箱作業，為提高規劃者之工作效率與規劃品質，Feng and Lin (1999<sup>ab</sup>)構建「都市計畫草圖替選方案分析模式(Sketch Layout Model, SLM)」。該模式是一個能提綱挈領地處理土地使用與運輸路網整合配置問題的非線性多目標數學規劃模式，透過「基因演算法(Genetic Algorithm)」之求解，可找出近似非劣解集作為替選方案使用。SLM模式經過SLM-I 與SLM-II 的演進，雖然已可應用於實際問題，但尚存在兩項課題有待改進。第一個課題是由於未考量設施之服務範圍，致只能配置較類似一般土地使用的區域型公共設施，尚無法配置社區型公共設施；為使SLM能夠完整處理實質計畫之配置作業，本研究將SLM-I 與「最大服務範圍區位問題(Maximal Covering Location Problem, MCLP)」結合，構建為SLM-III 模式，以將諸如學校或公園等社區型公共設施同時與土地使用及運輸路網進行整合性的配置，並經由簡例測試與敏感度分析驗證模式之可操作性與意義。第二個課題是由於未能分析旅運行為，故SLM尚無法區分配置路段之種類，亦即無法決定諸如主要道路或次要道路之區別；為將旅運行為納入SLM中處理，本研究進一步將SLM-III與旅次分佈 / 路網指派整合模式結合為二階規劃型式之SLM-IV模式，並經由簡例測試與敏感度分析驗證模式之可操作性與意義。

**關鍵詞：**都市規劃，土地使用設計，運輸路網設計，公共設施配置，數學規劃，基因演算法。

## ABSTRACT

The sketch map for urban planning represents the rough layout of a physical plan. However, the process of generating sketches has long been viewed as a “black box”. In order to improve the efficiency and quality of layout tasks, Feng and Lin (1999<sup>ab</sup>) created the Sketch Layout Model (SLM). This model is a nonlinear and multi-objective programming, which can be used to analyze the integrated layout of land uses and transportation network. Although the SLM had been developed for two phases and can be applied on real cases, there are still two issues waiting to be studied. The first issue is that the SLM ignores the constraints of facilities’ service area and the community-type facilities can not be well arranged. In order to analyze all of the important sectors in the physical plan, this study developed the SLM-III by integrating the SLM-II and the Maximal Covering Location Problem (MCLP). This improved model can be used to analyze the integrated layout of land uses, public facilities and transportation network. A numerical example and its sensitivity analysis will be shown to verify the operational feasibility and identify the characteristics of model. The second issue is that the SLM ignores the travel behavior and the types of roads in transport network. In order to create a hierarchical road network, this study developed the SLM-IV, a bi-level programming, by integrating the SLM-III and the combined distribution/assignment model. A numerical example and its sensitivity analysis will be shown to verify the operational feasibility and identify the characteristics of model.

***Keywords:*** *Urban Planning, Land Use Design, Network Design, Public Facility Layout, Mathematical Programming, and Genetic Algorithm.*

# 目 錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究對象與範疇.....	2
1.3 研究流程與內容.....	4
第二章 納入公共設施配置.....	7
2.1 SLM-II模式.....	8
2.2 SLM-III模式.....	12
2.3 簡例測試.....	18
2.4 小結.....	26
第三章 區分路段種類.....	28
3.1 SLM-IV模式.....	28
3.2 簡例測試.....	37
3.3 小結.....	45
第四章 結論與建議.....	47
4.1 結論.....	47
4.2 建議.....	48
參考文獻.....	49

## 圖目錄

圖 1-1 研究流程.....	5
圖 2-1 SLM 模式問題示意 .....	8
圖 2-2 範圍、分區與組合之定義 .....	9
圖 2-3 SLM-II輸出例.....	12
圖 2-4 SLM-II配置設施之問題示意 .....	13
圖 2-5 SLM-III模式問題示意 .....	16
圖 2-6 SLM-III簡例空間.....	18
圖 2-7 SLM-III簡例參數.....	20
圖 2-8 SLM-III之 CGAC 演算流程.....	21
圖 2-9 SLM-III簡例編碼方式示意.....	21
圖 2-10 SLM-III簡例優生交配過程(以 3 次交配為例) .....	23
圖 2-11 SLM-III簡例測試輸出例 ( 測試 2 端點解 ) .....	26
圖 3-1 NDP 問題二階規劃模式架構 .....	30
圖 3-2 SLM-IV模式架構.....	31
圖 3-3 SLM-IV模式問題示意 .....	32
圖 3-4 SLM-IV上下階問題間變數輸出入關係 .....	36
圖 3-5 SLM-IV簡例空間.....	37
圖 3-6 SLM-IV之 CGAC 演算流程.....	40
圖 3-7 SLM-IV簡例編碼方式示意 .....	41
圖 3-8 SLM-IV簡例優生交配過程 ( 以 3 次交配為例 ) .....	42
圖 3-9 SLM-IV簡例測試輸出例 ( 測試 3 端點解 ) .....	45

## 表目錄

表 2-1 SLM-III簡例土地使用物件 .....	19
表 2-2 SLM-III簡例公共設施物件 .....	19
表 2-3 SLM-III簡例測試參數組合 .....	24
表 2-4 SLM-III簡例測試結果彙整 .....	25
表 3-1 SLM-IV簡例土地使用物件 .....	38
表 3-2 SLM-IV簡例公共設施物件 .....	38
表 3-3 SLM-IV簡例測試容量設定值 .....	43
表 3-4 SLM-IV簡例測試結果彙整 .....	44

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

都市計畫係指：在一定地區內有關都市生活之經濟、交通、衛生、保安、國防、文教、康樂等重要設施，作有計畫之發展，並對土地使用作合理之規劃。都市計畫之內容大致包含三大部份：一是「發展目標」，包括目標、課題、對策、計畫年期、計畫人口及產業發展構想等；二是「實質計畫」，即土地使用、公共設施及交通運輸等部門，在種類、規模及配置上的規劃；三是「發展計畫」，如分期分區發展計畫、事業及財務計畫等。其中，實質計畫之目的，係為達成發展目標，以及作為發展計畫研擬之依據，不僅直接關係民眾生活與權益，並且影響政府施政之成效，可說是都市計畫的主角。

「都市計畫圖」是說明計畫內容的主要工具之一，其作用在表現實質計畫之配置分佈。像建築設計一樣，實質計畫的配置過程，需先產生幾個作為替選方案的配置草稿，即「草圖」；繼而依據最感滿意的草圖，產生更詳細明確的都市計畫圖。故所謂「都市計畫草圖」，指的是：實質計畫的配置草稿。過去替選草圖的產生過程一直被視為機關內部的行政作業，致存在幾個問題：一是方案僅反應少數規劃者的主觀理想或意念，忽略系統化的分析過程；二是以直覺的經驗判斷方式進行，使方案的數量及廣度不夠；三是各個部門間單獨進行或僅作有限的考量配合，未予以整合。這些問題使得都市計畫的主角(民眾)無法獲得規劃的效益，同時也導致誤解、懷疑甚至反對。為解決上述問題，Feng and Lin(1999<sup>ab</sup>)構建了「都市計畫草圖替選方案分析模式(Sketch Layout Model, SLM)」，並修改「累積基因演算法(Cumulative Genetic Algorithm, CGA)」成為「能處理限制式的CGA(CGAC with Constraints, CGAC)」，將模式與演算法結合成分析工具，用以幫助規劃者透過系統化的分析，很快地產生許多都市計畫替選方案，以提高工

作效率、改善規劃品質並獲得民眾的支持。

SLM是一個能提綱挈領地處理土地使用與運輸路網整合配置問題的多目標數學規劃模式,CGAC是可為SLM找出近似非劣解集合作為替選方案的啟發式解法(Heuristic Algorithm)。模式採漸進複雜的方法構建,演算法經過多次測試而確認其求解能力;所需輸入的參數資料,必須經由調查方能獲得,以確實掌握民眾的感受;分析結果為接近柏拉圖最適境的替選方案;整體而言,這個分析工具尚符合規劃者的需要。惟在實用上仍存在以下兩個限制:一是模式未處理公共設施服務範圍課題,致只能配置較類似一般土地使用的區域型公共設施,無法處理社區型公共設施;二是運輸路網配置結果並未區分路段功能或等級。若上述限制條件能逐一放寬,則SLM的適用範圍便能擴大,對規劃者將有更具體的助益,因此,本研究之目的在修改SLM模式,使能進一步處理社區型公共設施服務範圍,並能區分路段種類,使佈設的路網更具系統性。

## 1.2 研究對象與範疇

### 1.2.1 角色定位

一般都市規劃作業的內容可由以下三個向度說明:

- (1) 計畫階段:由「綱要計畫」開始,內容包括整體發展目標、指導策略與原則、計畫構想、草圖或藍圖;繼而進入「主要計畫」,為依據綱要計畫,並針對整個都市所制訂,具有綜合性、長期性與大尺度等特性;最後為「細部計畫」,係依據主要計畫,針對都市內各個地區所作,具有特定性、時間性與小尺度等特性。
- (2) 規劃程序:不管是什麼階段的計畫,規劃程序大致由「瞭解問題」開始,繼而依序進行「設定目標」、「分析預測」、「替選方案」、「可行性分析」、「評估」及「實施」等工作。

(3) 計畫內容：任何部門的計畫內容，皆可分解成以下三個基本元素，即「種類」、「規模」與「配置」。

本研究在規劃作業中的角色，係用於在「綱要計畫」階段，產生「配置」的「替選方案」。

### 1.2.2 研究對象

本研究對象主要針對「新訂」或「擴大」都市計畫案，亦即新市鎮或新社區之類的新編都市發展用地，在綱要計畫階段的配置構想。此時實質計畫項目之種類及規模應為已知條件，本研究將焦點放在這些實質計畫內容的替選配置方案上。

都市計畫之實質計畫內容，主要包括三大部份：第一是土地使用計畫，係指有關居住、經濟活動而設之使用分區，例如住宅、商業、工業及其它特殊分區；第二是公共設施計畫，係為增進生活便利及確保生活環境而設置供公眾使用之設施，例如學校、公園、場站、市場、機關、郵局、變電所等等；第三是交通運輸計畫，係為滿足民眾運輸需要，內容主要為道路系統之規劃。

三項實質計畫內容，各具有不同的功能與特性：土地使用著重於活動區位的安排，公共設施強調服務範圍的涵蓋，交通運輸則致力於地區間的聯繫。故整個實質計畫的配置，可視為「活動」、「服務」與「路段」三種物件的整合配置規劃問題。(原來SLM模式被構建時，係將土地使用與公共設施視為同屬於活動區位安排的「廣義土地使用」，僅處理土地使用與交通運輸整合配置，忽略了公共設施服務範圍的特性。)

本研究所處理的問題是產生多個草稿方案，本階段重點在活動、服務與路網佈設位置的大致安排，故在土地使用方面，應包括主要土地使用（例如：住宅區、商業區、工業區）及服務範圍大於整個計畫區的區域型公共設施（例如：大型公園、體育場、大學）；在公共設

施方面，應包括一般的社區型公共設施(例如：社區公園、停車場、中小學校等)；在運輸路網方面，因為一般都市交通計畫著重在佈設道路網，故配置項目應包括主要以及次要道路，至於公鐵路場站、軌道路權等暫不在此階段處理。

### 1.2.3 研究重點

實質計畫的配置問題包含兩個重點：「物件(object)」係指所要配置的土地使用、公共設施與運輸路段；「空間(space)」係指等待被配置上物件的規劃範圍。物件與空間的相互作用，產生了影響配置的四個重要因素：一是各種物件之間所具有的關聯、衝突或互補等關係；二是空間之間的相對位置關係；三是空間本身在自然及人文條件上對物件所產生的限制作用；四是物件對空間在面積、坡度及形狀等條件上的要求。因為第三及第四種因素通常在事前即會經過詳細分析，故配置作業事實上是依其分析結果，對第一及第二種因素作適當安排。因此本研究將空間對物件的限制以及物件對空間的要求視為已知條件，亦即是在土地使用適宜性分析已完成並作為已知條件情形下，針對前述第一及第二種因素作適當安排，以系統化地進行分佈規劃。

## 1.3 研究流程與內容

本研究之流程如圖1-1所示，各步驟之作業內容與方法說明如下：

### 1. 問題定義：

釐清研究目的、問題範疇、合理假設條件、輸入與輸出資料需求以及研究重點與步驟等基本課題。

### 2. 文獻收集評析：

收集國內外相關研究文獻，並作進一步的彙整比較，分析各文獻所處理問題、分析方法、模式構成以及應用成效，作為構建模式的參考。

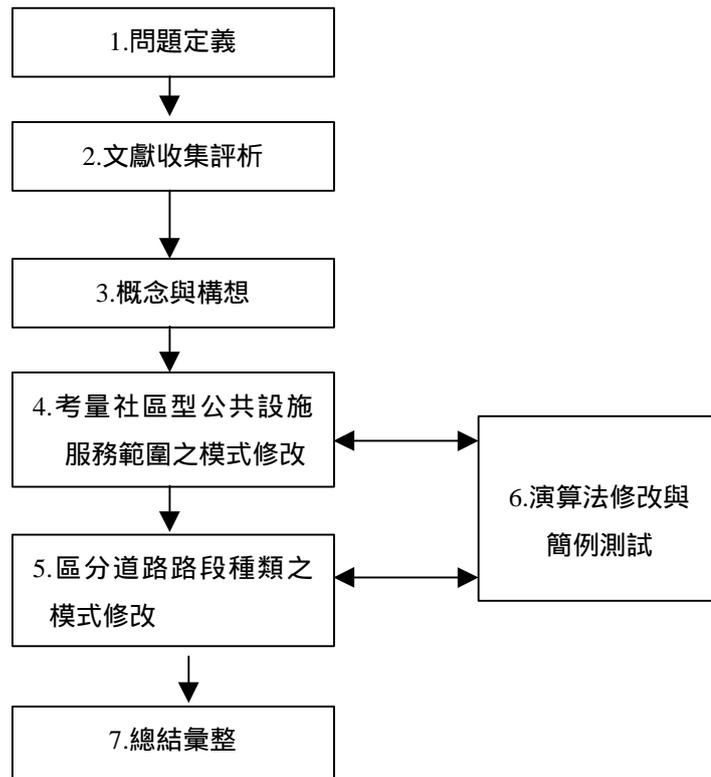


圖 1-1 研究流程

3. 概念與構想：

探討「社區型公共設施服務範圍」與「區分道路路段種類」在實質計畫配置草圖中的意義與角色，並據以提出修改模式的構想。

4. 考量設施服務範圍之模式修改：

整合「最大服務區位問題(Maximal Coverage Location Problem, MCLP)」與 SLM-II 兩個數學規劃模式成為 SLM-III，使之能進行社區型公共設施之配置。

5. 區分路段種類之模式修改：

將 SLM-III 模式和「旅次分佈與路網指派整合模式(combined distribution / assignment model, CDA)」結合為二階規劃型式之

SLM-IV，使之能進行旅運行為分析，以區分路段種類。

6. 演算法修改與簡例測試：

以基因演算法 CGAC 為基礎，分別就第四及第五步驟所修改之 SLM 模式進行演算法修改與簡例測試，以驗證模式之可操作性與演算法之求解能力。

7. 總結整理：

彙整研究成果，提出後續研究方向。

## 第二章 納入公共設施配置

由於SLM模式未處理公共設施服務範圍課題，致只能配置較類似一般土地使用的區域型公共設施，無法處理社區型公共設施。若能將此課題納入，則SLM的適用範圍便能擴大到實質計畫的三個主要部門，即：土地使用、公共設施以及運輸路網，這對規劃者將有更具體的助益。因此本章之目的，即在修改SLM模式，使能將社區型公共設施的服務範圍課題納入模式中分析，俾憑完整地進行實質計畫之區位安排。

雖然實質計畫的內容基本上包括「土地使用」(活動的安排)、「公共設施」(服務的安排)以及「運輸路網」(聯繫的安排)三個部門，理應同時考量以得到都市整體最佳化的配置結果，但過去對配置問題的研究多著重在單一部門的最佳化，而將其他部門視為已知條件。例如：假定在運輸系統已知情形下，尋求最佳土地使用配置的「土地使用設計問題 (Land use Design Problem, LDP)」(Brotchie et al., 1980 ; Gordon and MacReynolds, 1974 ; Bammi et al., 1976 ; Bammi and Bammi, 1979 ; Barber, 1976 ; Brotchie, 1978 ; Ridgley and Giambelluca, 1992 ; Dokmeci et al., 1993)；假設土地使用分佈已知情形下，尋求最佳路網配置的「路網設計問題 (Network Design Problem, NDP)」(Mackinnon and Hodgson, 1970 ; Leblanc, 1975 ; Poorzahedy and Turquist, 1982 ; Maganti and Wong, 1984 ; Janson and Husaini, 1987 ; Xiong and Schneider, 1995)；假設土地使用與運輸路網已知情形下，尋求最佳設施分佈的「設施區位問題(Facility Location Problem, FLP)」(如Owen and Daskinb, 1998之回顧)。少數研究曾嘗試同時進行二個部門的配置規劃，例如：「土地使用與運輸路網整合配置模式(Land use-Network Design Model, LNDP)」(Lundqvist, 1973 ; Los, 1978 ; Los, 1979)，SLM模式即屬於此類問題。然而，過去並未有文獻同時對實質計畫的三個主要部門進行整合配置，本章的另一個目的，即在嘗試

能於此課題上進行突破。

本章將於2.1節簡介SLM-II模式，接著在2.2節說明SLM- 之構建過程；然後在2.3節以一個32分區、7種土地使用、2種公共設施以及1種路段之假想簡例，設定8種參數條件進行測試，檢討分析結果之意義；最後則於2.4節提出小結。

## 2.1 SLM-II模式

SLM模式是進行土地使用與運輸路網整合配置的數學規劃問題。它將規劃範圍的「空間(space)」劃分為許多大小適宜且相等的「分區(cell)」，將待配置各種土地使用區分為與分區相同大小的單元，將運輸路網分解為路段(相鄰兩分區中心點間之連接單元)，這些土地使用單元與運輸路段均被稱為「物件(object)」。SLM模式基本上是在土地使用物件之種類、數量(總數恰與分區數相等)以及可行配置分區等條件已知情境下，尋求所有物件在空間中的配置替選方案，如圖2-1所示。

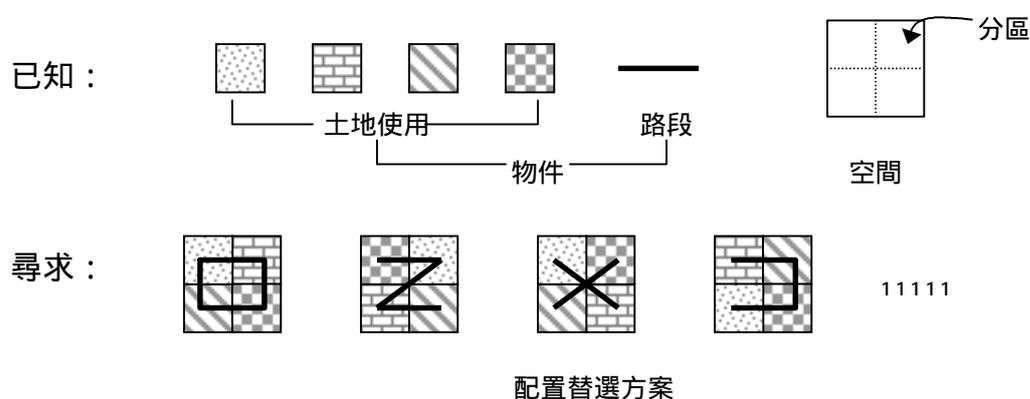


圖 2-1 SLM 模式問題示意

目前SLM有兩種型式，SLM-I只能處理極簡單的問題情境，SLM-II則進一步考量聯外運輸、人文與自然限制以及不規則規劃範圍等一般實際問題之特性。二者都能以CGAC演算法求解，除了簡例測試外，SLM-II在社子島地區與淡海新市鎮二個案例上曾進行過實例研究。有關SLM在構建、測試以及實例研究之詳細內容，請參閱馮正民與林楨家(民86)、馮正民(民87)、林楨家(民88)以及Feng and Lin(1999<sup>ab</sup>)等文獻，以下將著重於說明SLM-II之模式型態與意義。

首先須定義幾項名詞。如圖2-2所示，「規劃範圍」是指待配置上物件之空間，「分析範圍」為規劃範圍及其周圍空間，其土地使用與運輸路網會影響規劃範圍者；規劃範圍被劃分為許多分區，而分析範圍扣除規劃範圍部份則被劃分為許多虛擬分區；另外，將某一土地使用單元置入某一特定分區內，稱為一個「組合」。

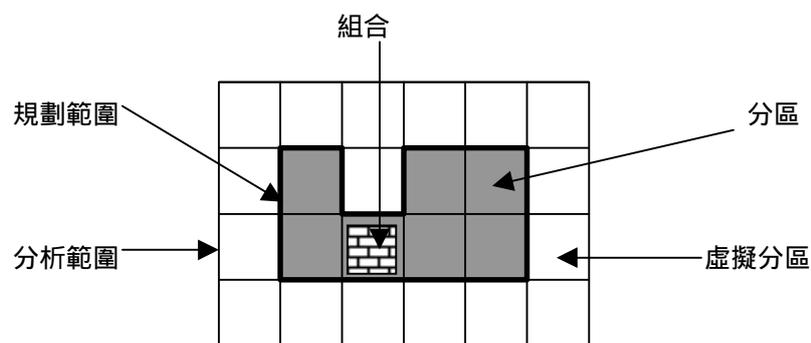


圖 2-2 範圍、分區與組合之定義

模式中使用變數定義如下：

- 1  $k, k'$ : 土地使用種類， $\in [1, K]$ ，已知條件；
- 1  $i, j, i', j'$ : 分析範圍內的分區，已知條件；
- 1  $i^*, j^*, i^\wedge, j^\wedge$ : 規劃範圍內的分區，即分析範圍扣除虛擬分區後的部份，已知條件；

- 1  $(ij, i'j') \in$  分區配對之集合,  $ij \neq i'j'$ ,  $(i'j', ij)$  代表同一個配對, 不重複出現在集合中, 已知條件;
- 1  $X^k$ : 土地使用  $k$  的總量, 已知條件;
- 1  $X_{ij}^k$ : 土地使用  $k$  配置(=1)或不配置(=0)在  $ij$  區, 決策變數;
- 1  $Y_{ij, i'j'}$ : 路段配置(=1)或不配置(=0)在  $ij$  與  $i'j'$  間, 決策變數;
- 1  $d_{ij, i'j'}$ :  $ij$  與  $i'j'$  間的空間直線距離, 已知條件;
- 1  $D_{ij, i'j'}$ :  $ij$  與  $i'j'$  間的最短路徑旅行距離, 由  $Y$  決定;
- 1  $h_{kk}^d$ :  $k$  感覺  $k$  相距  $d$  時的和諧程度,  $\in [0,1]$ , 已知條件;
- 1  $r_{kkk}$ :  $k$  與  $k$  間的關聯程度,  $\in [0,1]$ , 已知條件;
- 1  $A_{ij, i'j'}$ :  $ij$  與  $i'j'$  間的交通可及性,  $\in [0,1]$ , 由  $D$  決定;
- 1  $w_{ij, i'j'}$ :  $ij$  與  $i'j'$  間若設置路段之成本當量, 已知條件;
- 1  $s$ : 係數,  $s > 0$ , 已知條件;
- 1  $M$ : 極大之正實數, 已知條件;
- 1  $C^k$ : 不能配置土地使用  $k$  之分區集合, 已知條件;
- 1  $C^A$ : 不能配置路段之分區配對集合, 已知條件。

「草圖分析模式II型 (Sketch Layout Model - type II, SLM-II)」之數學式整理如下：

[P1]

$$\text{Max} \quad \text{Min} \left\{ 10^{M(1-X_{i^*j^*}^k)} \left[ \sum_{ijk} (X_{ij}^k h_{kk}^d) \right], \forall i^*, j^*, k; ij \neq i^*j^* \right\} \quad (1)$$

$$\text{Max} \quad \left\{ \sum_{(i^*j^*, ij)} [1 - \left| \sum_{k, k'} (X_{i^*j^*}^{k'} X_{ij}^k r_{kkk}) - A_{i^*j^*, ij} \right|] \right\} \div \sum_{(i^*j^*, i^*j^*)} (w_{i^*j^*, i^*j^*} Y_{i^*j^*, i^*j^*}) \quad (2)$$

$$\text{S.T.} \quad \sum_{ij} X_{ij}^k = X^k, \forall k \quad (3)$$

$$\sum_k X_{ij}^k = 1, \forall ij \quad (4)$$

$$D_{i^*j^*, i^*j^*} \neq \infty, \forall (i^*j^*, i^*j^*) \quad (5)$$

$$X_{ij}^k = 0, \forall ij \in C^k \quad (6)$$

$$Y_{ij, i'j'} = 0, \forall (ij, i'j') \in C^A \quad (7)$$

$$X_{ij}^k = 1, \forall k \text{ 已存在於 } ij \text{ 區} \quad (8)$$

$$Y_{ij, i'j'} = 1, \forall ij \text{ 與 } i'j' \text{ 間已有路段存在} \quad (9)$$

$$\text{Where} \quad X_{ij}^k, Y_{ij, i'j'} \in \{0,1\}, \forall k, ij, (ij, i'j') \quad (10)$$

$$A_{i^* j^*, ij} = (D_{i^* j^*, ij})^{-1/\beta} \quad (11)$$

$$d = d_{i^* j^*, ij} \quad (12)$$

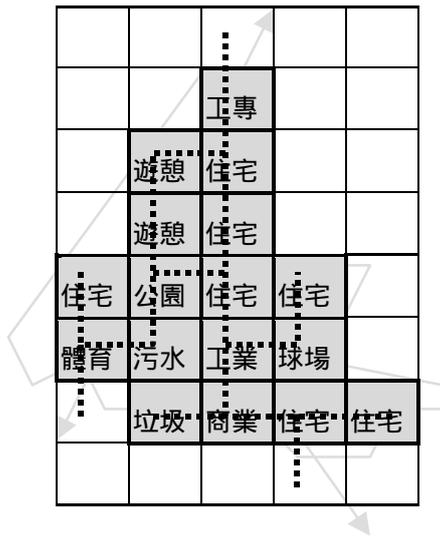
其中，二個決策變數均為0-1整數， $X_{ij}^k$ 代表第 $k$ 種土地使用配置(=1)或不配置(=0)在分區 $ij$ ， $Y_{ij, ij^*}$ 代表 $ij$ 與 $ij^*$ 間配置(=1)或不配置(=0)路段。(1)式為生活環境和諧目標式，由[1]計算規劃範圍內某一個組合所感受的環境和諧程度，而 $Min\{ \epsilon \}$ 可找出和諧程度最小的組合，該目標之目的即在使此組合之和諧程度極大化，故為極大化最小值之目標。(2)式為都市發展效率目標式， $|1 - \epsilon|$ 為兩個相異組合在空間可及性與土地使用關聯性二者之間的差異，差異愈大表示聚集利益愈小，因此 $[1 - |\epsilon|]$ 可代表任兩個相異組合間的聚集利益高低； $\{\sum [1 - |\epsilon|]\}$ 將組合間的聚集利益加總起來，即可代表整體聚集利益，將此總量除以建設成本(以佈設路段總數代表，即分母 $\sum wY$ )，可代表都市發展效率；該目標式之目的在使此效率值極大化。

SLM-II計有五類限制式：(3)式為所有待配置土地使用物件均須配置完畢；(4)式為每一分區僅接受一單位土地使用物件；(5)式為任兩分區間均必須有路徑相連接；(6)式與(7)式則對不適合配置在某分區內或分區間的土地使用或路段物件先設定為0；(8)式與(9)式則對已存在某分區且無法更動的物件先設定為1。另外，(10)式為決策變數值域說明；(11)式為兩個分區間可及性的定義，由路徑旅行距離構成；(12)式為上標 $d$ 之定義。

問題[P1]可由基因演算法CGAC求解近似非劣解集，經由簡例測試、實例研究以及敏感度分析等研究經驗發現，若世代數(generation)與族群數(population)設得愈大，非劣解的數目不一定愈多，且每個解的平均運算時間會愈長，但是所得到的近似解集會愈接近真正的解

<sup>1</sup> 讓各個組合之間，土地使用關聯程度與兩地間交通可及性水準愈「相當」，也就是說二者在一般化後的水準差異愈小，整體的聚集利益愈高(林楨家，民 88)；本文「聚集利益」之意義並非一般「聚集經濟」之觀念。

集。故使用者應在電腦處理容量與作業時間之限制允許下，將上述兩個參數值設得愈大愈好。圖2-3是SLM-II為淡海新市鎮所分析出四個替選草圖中的一個，由該圖可知，模式之輸出結果為土地使用與運輸路網的大致佈設位置；規劃者經由方案評估之後，可就最佳的草圖進行後續的細部設計作業，完成實質計畫的配置。



資料來源：林楨家(民 88)。

圖 2-3 SLM-II輸出例

## 2.2 SLM-III模式

依據都市計畫法第46條規定，中小學校、社教場所、市場、郵政、電信、變電所、衛生、警所、消防、防空等公共設施，應按閭鄰單位或居民分佈情形適當配置之。因此，對這些常被視為地區性(或社區性)公共設施而言，其合理的服務範圍是很重要的；我們期望能讓愈多的服務對象被包含在設施服務範圍內，不希望設施太過集中配置，而讓某些地區被過多的設施服務，但某些地區卻又完全沒有被設施服務。由於SLM-II的第一個目標式有「物以類聚」的效果，若將地區性公共設施視為土地使用物件進行配置，則會發生同類設施集中一處的結果，如圖2-4(a)所示，這與我們的期望(如圖2-4(b))不同；因此地區性公

共設施不適合應用SLM-II為配置分析工具，需要更進一步地進行修改。

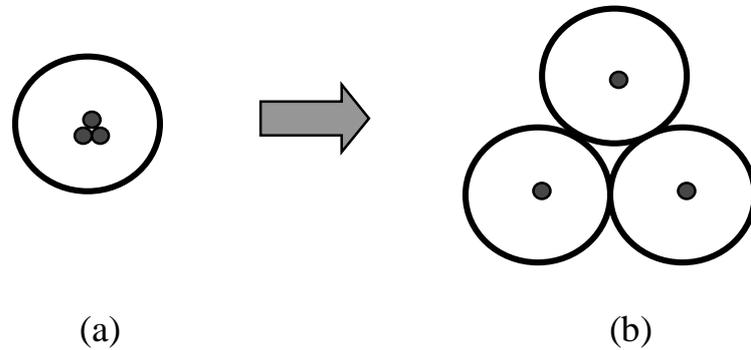


圖 2-4 SLM-II配置設施之問題示意

如何修改SLM-II？我們由文獻回顧發現，傳統將公共設施區位分析模式區分為以下四類(Owen and Daskin,1998)：一是追求被服務對象到設施位置間總旅行時間(或距離、成本)最小的「中位問題(Median Problem)」，二是考量設施服務範圍的「覆蓋問題(Covering Problem)」，三是期望使最遠的被服務對象到設施位置間的旅行時間最小化的「中心問題(Center Problem)」，四是其它特殊問題。其中，考量到設施服務範圍的覆蓋問題(Schilling *et al*, 1993)又區分為二類：一是設施數目固定，目的在使最多被服務對象被涵蓋在設施服務範圍內的「最大服務範圍區位問題(Maximal Covering Location Problem, MCLP)」；二是追求將所有被服務對象涵蓋在服務範圍內的最少設施數的「區位設施之服務範圍問題(Location Set Covering Problem, LSCP)」。基於SLM模式係假設待配置物件之數量為已知的固定值，且實務上都市計畫作業通常先決定需求總量，繼而進行配置，故符合SLM分析情境之模式應為MCLP模式。

MCLP由Church and ReVelle(1974)提出，基本的模式型態如下：

[P2]

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n p_i m_i \quad (13)$$

$$\text{s.t. } m_i \leq \sum_{j \in Q} Z_j, \quad \forall i \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} Z_j = F \quad (15)$$

$$Z_j, m_i \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (16)$$

其中  $Q_i = \{j \mid D_{ij} \leq N\}$

$i$ 代表需求地區， $j$ 代表設施可能配置地區；

$N$ ：設施服務範圍半徑上限；

$p_i$ ： $i$ 區服務需求程度(可以人口數為代表)；

$F$ ：待配置設施數目；

$J$ ：設施可能配置地區之集合；

$Z_j=1$ ， $j$ 區配置設施；0，其它；

$m_i=1$ ， $i$ 區在設施服務範圍內(即可被設施服務到)；0，其它。

[P2]問題之(13)式為目標式，在追求設施服務範圍內之需求量極大化；(14)式在辨識需求地區 $i$ 是否位於設施服務範圍內；(15)式在使待配置設施數均被分配完畢，與[P1]問題之(3)式有同樣的作用，當「=」符號更改為「 $\leq$ 」符號時，則 $F$ 代表待配置設施數之上限；(16)式則規範決策變數值域為0-1整數，與[P1]問題相同。

[P2]問題為最基本的MCLP模式，隱含多項假設條件，後續許多研究致力於這些假設條件的解除，例如：Gunawardane(1982)、Schilling((1980)、Min(1988)以及Daskin *et al.*(1992)將靜態(static)的最終配置改變為動態(dynamic)的分期配置；Daskin(1983)、Batta *et al.*(1989)以及Ho

gan and ReVelle(1986)將確定性(deterministic)的情境改變為不確定性(stochastic)的情境；Mehrez and Stulman(1982)、Mehrez and Stulman(1983)以及Church(1984)將分析空間由節點(node)變更為平面(plane)，亦即設施候選位置無法事先得知；Current and Storbeck(1988)、Pirkul and Schilling(1991)以及Haghahi(1996)考慮到設施之服務容量限制；More and ReVelle(1982)以及Ruefli and Storbeck(1982)區分設施之等級；Batta and Mannur(1990)則將原來僅作設施之配置進一步提昇為設備數量之配置。

MCLP之應用對象相當廣泛，例如：樓邦儒(民84)、曾國雄與林植家(民86)以及Schilling(1976)的消防隊，Eaton and Daskin(1980)以及Hammon *et al.*(1979)的救護車，Min(1988)的圖書館、Eaton *et al.*(1981)的診所、Church(1980)的垃圾收集分區、Migereko(1983)的咖啡收購站配置、Courtney(1978)的雨量計配置、Hoagland and Stephens(1976)的空氣污染監測計等。

由以上回顧可知，MCLP模式適合處理地區性公共設施之服務範圍課題，模式型態具彈性且易於修改擴充，應用經驗廣而豐富，決策變數值域和部份限制式與SLM模式相同，故非常適合納入SLM中處理地區性公共設施之配置。在進行模式結合之前，先對SLM在設施配置上的分析情境作一說明：假設待配置地區性公共設施之種類、數量、服務對象以及可行配置地點等資訊已事先妥善決定，設施之服務容量、用地面積、與週遭環境相容性、等級、設備數量等因素可留待細部配置設計時處理，我們期望模式能在確定性的環境下，決定設施之靜態性的佈設。因此修改後的SLM問題可由圖2-1變更為圖2-5。

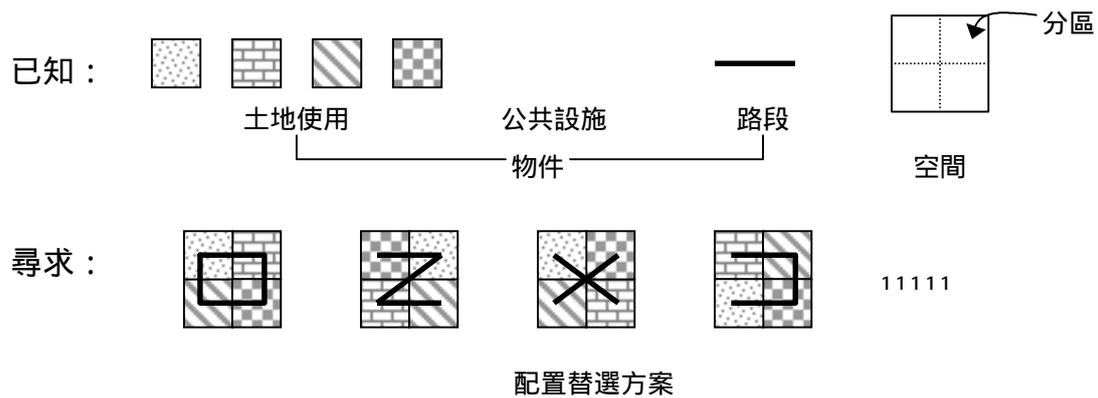


圖 2-5 SLM-III模式問題示意

為表現修正後的模式，除[P1]問題所使用之變數意義外，另增加以下變數：

- 1  $f$ ：設施種類，已知條件；
- 1  $C^f$ ：不能配置設施  $f$  之分區集合，已知條件；
- 1  $F^f$ ：設施  $f$  待配置總數，已知條件；
- 1  $P_k^f$ ：土地使用  $k$  對設施  $f$  之需求程度(例如居住人口數)，已知條件；
- 1  $N^f$ ：設施  $f$  之合理服務範圍(以旅行距離衡量)，已知條件；
- 1  $Z_{ij}^f$ ：設施  $f$  配置(=1)或不配置(=0)在  $ij$  區，決策變數；
- 1  $m_{ij}^f$ ： $ij$  區在(=1)或不在(=0)設施  $f$  之服務範圍內，由  $Z$  與  $Y$  決定。

「草圖分析模式III型 ( Sketch Layout Model-type III, SLM-III )」之數學式整理如下：

[P3]

$$\text{Max} \quad \text{Min} \left\{ 10^{M(1-X_{i^*,j^*}^k)} \left[ \sum_{ijk^*} (X_{ij}^{k^*} h_{kk^*}^d) \right], \forall i^*, j^*, k; ij \neq i^* j^* \right\} \quad (17)$$

$$\text{Max} \quad \left\{ \sum_{(i^*,j^*,ij)} [1 - \left| \sum_{k,k^*} (X_{i^*j^*}^k X_{ij}^{k^*} r_{kk^*}) - A_{i^*j^*,ij} \right|] \right\} \div \sum_{(i^*,j^*,i^*,j^*)} (W_{i^*,j^*,i^*,j^*} Y_{i^*,j^*,i^*,j^*}) \quad (18)$$

$$\text{Max} \quad \sum_f \sum_{i^*} \sum_{j^*} (p_k^f X_{i^* j^*}^k m_{i^* j^*}^f) \quad (19)$$

$$\text{S.T.} \quad \sum_{ij} X_{ij}^k = X^k, \forall k \quad (20)$$

$$\sum_{i^* j^*} Z_{i^* j^*}^f = F^f, \forall f \quad (21)$$

$$\sum_k X_{ij}^k = 1, \forall ij \quad (22)$$

$$D_{i^* j^*}^{i^* j^*} \neq \infty, \forall (i^* j^*, i^* j^*) \quad (23)$$

$$X_{ij}^k = 0, \forall ij \in C^k \quad (24)$$

$$Y_{ij, i' j'} = 0, \forall (ij, i' j') \in C^f \quad (25)$$

$$Z_{ij}^f = 0, \forall ij \in C^f \quad (26)$$

$$X_{ij}^k = 1, \forall k \text{ 已存在於 } ij \text{ 區} \quad (27)$$

$$Y_{ij, i' j'} = 1, \forall ij \text{ 與 } i' j' \text{ 間已有路段存在} \quad (28)$$

$$Z_{ij}^f = 1, \forall f \text{ 已存在於 } ij \text{ 區} \quad (29)$$

$$m_{i^* j^*}^f \leq \sum_{ij \in Q_{i^* j^*}^f} Z_{ij}^f, \forall i^* j^*, f \quad (30)$$

$$\text{Where} \quad X_{ij}^k, Y_{ij, i' j'}, Z_{ij}^f, m_{i^* j^*}^f \in \{0,1\}, \forall k, ij, (ij, i' j'), f \quad (31)$$

$$A_{i^* j^*, ij} = (D_{i^* j^*, ij})^{-1/\beta} \quad (32)$$

$$d = d_{i^* j^*, ij} \quad (33)$$

$$Q_{i^* j^*}^f = \{ij \mid D_{i^* j^*, ij} \leq N^f\} \quad (34)$$

SLM-III([P3])與SLM-II([P2])相較，存在幾個相異處。首先是增加一個0-1整數之決策變數  $Z_{ij}^f$ ，代表設施/配置(=1)或不配置(=0)在分區  $ij$  內；其次，新增(19)式為第三個目標式，該式可以計算出位於所有設施服務範圍內之服務對象總數，值愈高代表服務到的對象愈多，本目標之目的在使此服務對象總數極大化，稱為「設施服務周延」之目標；另外，新增四個限制式：(21)式限制所有設施物件均須被配置完畢，(26)式係對不適合配置在某分區之設施物件先設定為0，(29)式係對已存在某分區且無法更動的設施物件先設定為1，(30)式係在辨識  $i^* j^*$  分區是否位於設施  $f$  之服務範圍內；最後，(34)式為新增之條件式，用來定義

位於服務範圍距離內之分區集合。至其餘公式之意義，均與[P1]問題相同。

## 2.3 簡例測試

為檢證SLM-III模式之可操作性與特性，本研究進行假想簡例之測試與比較，以下分就簡例條件、演算法步驟以及測試成果檢討等三部分進行說明。

### 2.3.1 簡例條件

假設規劃範圍如圖2-6(a)，等分為32個分區；分析範圍如圖2-6(b)，增加16個虛擬分區；已存在而無法更動之物件為一單位住宅區以及一條聯外路徑，如圖標示。聯外道路所連接的虛擬分區代表對外連繫方向的虛擬空間，以「區外」稱之；其餘虛擬分區只為程式運算需要，不配置物件，稱為「保留」。總計分析範圍內有48個分區，其中32個分區屬規劃範圍(但1個分區已被土地使用物件佔據)，16個分區屬虛擬分區(14個為保留分區、2個為區外分區)。

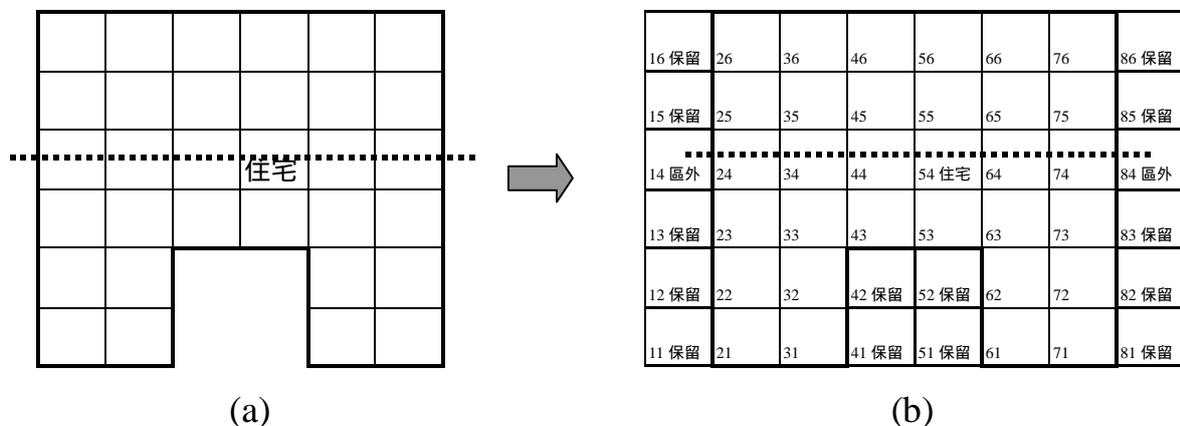


圖 2-6 SLM-III簡例空間

假設計有7種土地使用，數量如表2-1所示，參數 $s$ 設為1， $w$ 設為路段起迄點間之直線空間距離， $I_{kk}^d$  (和諧程度)與 $r_{kk}^k$  (關聯程度)值係引用自林楨家(民88)，如圖2-7所示。待配置公共設施有2種，數量如表2-2所示；參數 $p_k^f$  (設施需求程度)紀錄於表2-1， $N^f$  (設施服務範圍半徑)紀錄於表2-2。規劃範圍內可能配置的運輸路段有47個，另有5個路段已存在於規劃範圍內，2個路段已存在於由規劃範圍連接至區外。

表 2-1 SLM-III簡例土地使用物件

$k$	土地使用	待配置數目	已存在數目	總數目 $X^k$	對設施需求程度( $p_k^f$ )	
					消防隊 ( $f=1$ )	小學( $f=2$ )
1	住宅區	19	1	20	8	10
2	商業區	4	0	4	10	8
3	工業區	4	0	4	7	0
4	廢棄物處理	1	0	1	1	0
5	遊憩區	1	0	1	1	0
6	行政區	1	0	1	7	0
7	大學	1	0	1	7	0
8	區外	0	2	2	-	-
9	保留	0	14	14	-	-
合計		31	17	48	-	-

表 2-2 SLM-III簡例公共設施物件

$f$	公共設施	服務對象	待配置數目 $F^f$	服務範圍半徑* $N^f$
1	消防隊	所有土地使用物件	3	1
2	小學	住宅區、商業區	2	2

\*距離單位為兩相鄰分區中心點間之長度，定義如馮正民與林楨家(民86)。

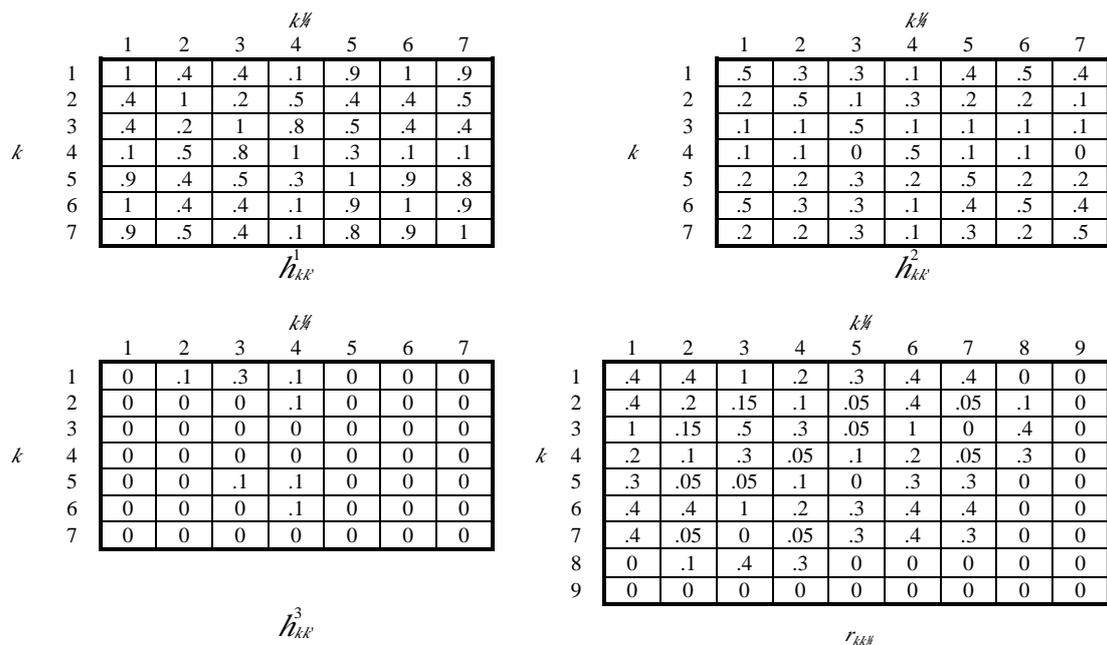


圖 2-7 SLM-III簡例參數

### 2.3.2 演算法說明

使用屬於基因演算法之CGAC求解近似非劣解集，其求解能力業經林楨家(民88)驗證，演算流程如圖2-8所示，各步驟說明如下：

**步驟 1 編碼與參數設定：**首先須將決策變數以「布林變數(boolean variables)」型式編碼。本簡例以3個字元(bit)，或稱基因(gene)，代表某一分區配置的土地使用種類，以1個基因代表某一可能路段是否設置，以2個基因代表某一分區是否配置某種公共設施，在 $I \times J$ 個分區、 $A$ 個可能路段以及2種公共設施情形下，整個字串(string)，或稱染色體(chromosome)，將包含 $3 \times I \times J + A + 2 \times I \times J$ 個基因，如圖2-9所示。另外尚須設定三個控制參數：世代數(generation size)、族群數(population size)及突變率(mutation probability)；其中，世代數與族群數的設定組合將於下一小節說明，突變率一般建議設定為族群數的倒數(Goldberg, 1989)。

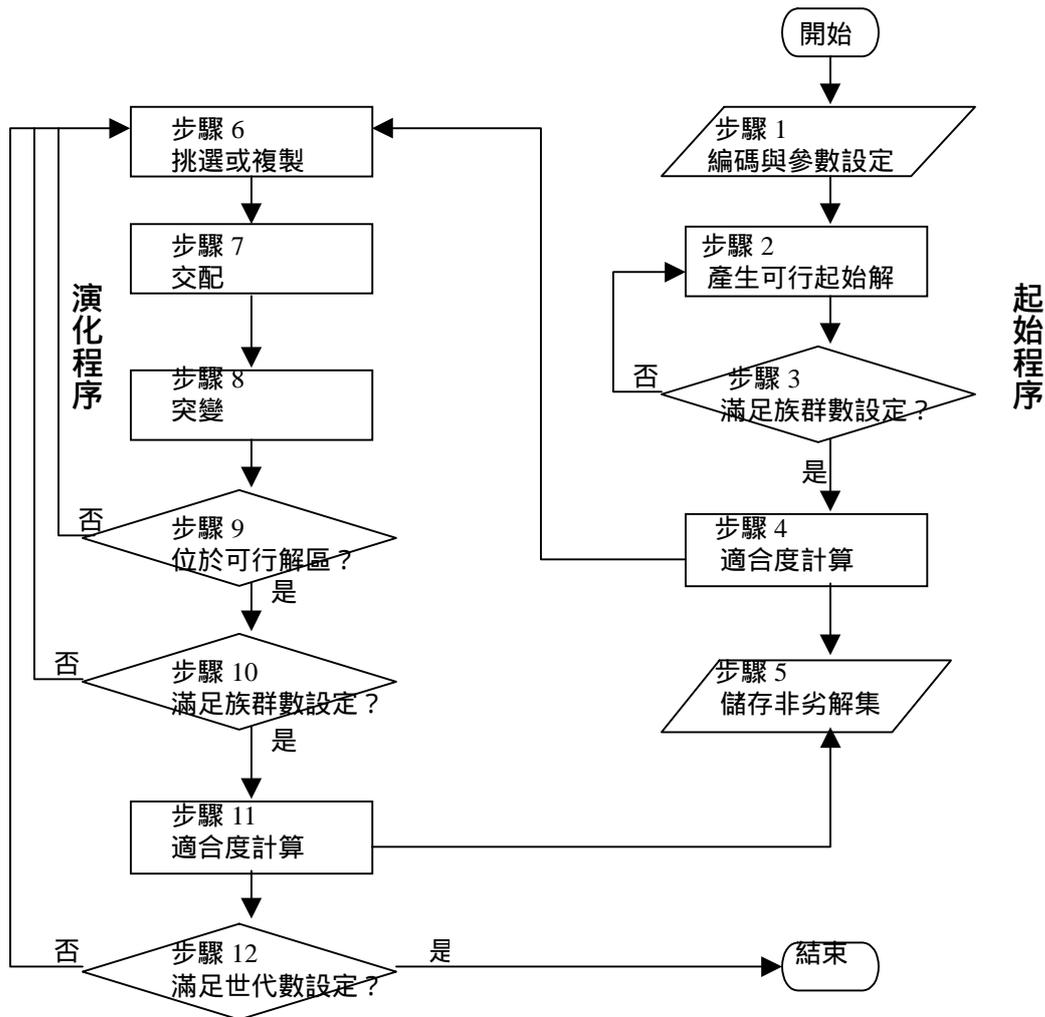


圖 2-8 SLM-III之CGAC 演算流程

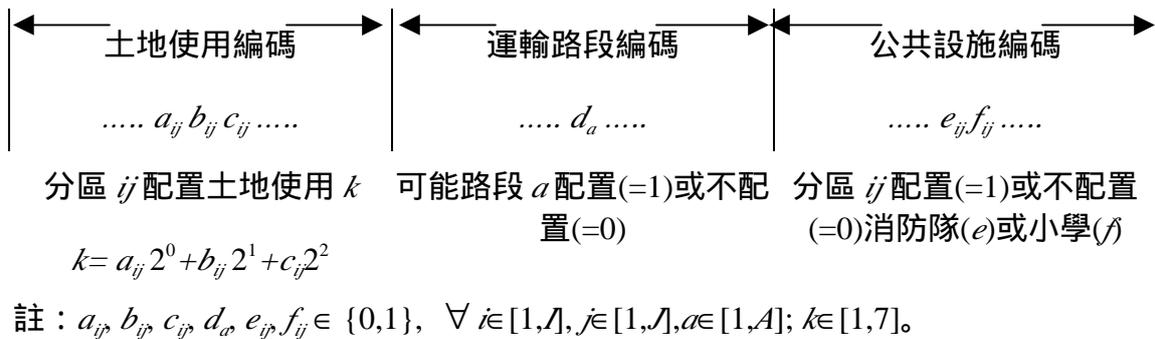


圖 2-9 SLM-III簡例編碼方式示意

步驟 2 產生可行的起始解：本步驟開始進入「起始程序(initial process)」，目的在產生符合限制條件的染色體，本研究採取條件隨機與反覆測試的方法，搜尋可行起始解，並將之稱為「優生選種」機制。

步驟 3 檢查設定的族群數是否滿足，若尚未到達設定值，則回到步驟 2繼續執行。

步驟 4 適合度計算：本研究目的在尋找非劣解集，若A解在各個目標式的表現均不劣於B解，則稱A解「凌駕(dominate)」B解，若某一個解完全不被其它解凌駕，則稱之為非劣解。故就某個世代所產生族群中的各個染色體，在兩個目標式的表現水準上，被其它染色體凌駕的次數愈少，表示其愈接近非劣解，我們以下式說明上述觀念並作為適合度指標：

$$\text{適合度} = f = \left(1 - \frac{\text{被凌駕的次數}}{\text{族群數} - 1}\right) \times 100\% \quad (35)$$

步驟 5 儲存非劣解集：將適合度為100的染色體儲存在非劣解集中。

步驟 6 挑選(或複製)：此步驟開始進入「演化程序(evolutionary process)」，依據「賭博輪盤(roulette wheel)」方法，以下式決定每一染色體被選中進行繁衍後代的機率：

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (36)$$

$P_i$ ：i染色體被選中機率；

$f_i$ ：i染色體之適合度；

$n$ ：族群數。

步驟 7 交配：傳統基因交配方法並不適用於本文問題，經過實際測試發現，會發生為滿足限制條件，而很容易地挑選到相同或相似的母代染色體進行交配，產生近親繁殖，使第4或第5世代後就陸續出現完全相同的染色體，亦即發生了族群衰蔽現象。為改正這個缺失，本研究另使用「優生交配」機制，包括三個程序：一是隨機決定交配次數，二是同時對兩個母代隨機挑選不必然相同位置的基因進行交配，三是反覆進行直到交配次數獲得滿足為止；如圖2-10示意。

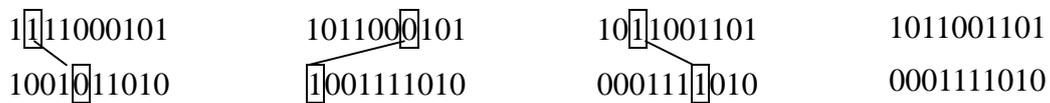


圖 2-10 SLM-III簡例優生交配過程(以3次交配為例)

步驟 8 突變：於0到1間產生一個隨機亂數，當亂數值小於所設定突變率時，更動其基因值(0 → 1, 1 → 0)。

步驟 9 自然淘汰機制：將前述經過複製、交配、突變過程所產生新的染色體，就每一項限制式檢測其是否位於可行解區，若是，則列為子代。

步驟 10 檢測子代數目是否滿足設定之族群數。

步驟 11 計算子代適合度，並將適合度為100的子代與步驟 5之非劣解集進行凌駕比較，將比較後仍是非劣解的染色體留存更新該非劣解集。

步驟 12 檢測是否滿足設定之世代數。

### 2.4.3 測試結果與檢討

為檢討模式之特性，設定8種參數組合進行測試，如表2-3所示。其中，測試1、2、7、8等只改變其族群數與世代數的設定，目的在瞭解這兩個參數值對求解效果的影響力。測試3、4、5、6等則在改變第三個目標式(設施服務周延)的參數值設定，目的在瞭解該目標式在模式中的重要性與作用；測試3代表所有土地使用對設施之需求程度均相同，測試4代表完全沒有待配置設施物件或是所有土地使用對設施均無需求，測試5代表待配置設施數目相當多，測試6代表設施服務範圍相當廣大；上述這四個測試條件，均會降低第三個目標式的影響力，而使另外兩個目標式能更自由地追求較佳的目標值，故與測試2相較，預期會有較不劣(nondominated)的解集。

表 2-3 SLM-III簡例測試參數組合

族群數 \ 世代數	30	50	100
30	測試 1	-	測試 7
50	-	測試 2	測試 8
		測試 3 ( $p_k^f=5, \forall f,k$ )	
		測試 4 ( $F^f=0, \forall f$ 或 $p_k^f=0, \forall f,k$ )	
		測試 5 ( $F^f=10, \forall f$ )	
		測試 6 ( $N^f=30, \forall f$ )	

為比較各次測試所得解集間的凌駕狀況，建立「劣指標(dominated index, DI)」如下：

$$DI_i = \left( \sum_{j=1}^{n_i} \frac{u_{ij}}{N} \right) \div n_i \times 100\% \quad (37)$$

其中， $DI_i$ 為第*i*次測試解集之劣指標， $n_i$ 為第*i*次測試近似非劣解數目， $u_{ij}$ 為第*i*次測試第*j*個近似非劣解被整個8次測試所得到近似非劣解凌駕之次數， $N$ 為8次測試得到近似非劣解總數。DI值在0到100間，值

愈低表示該次測試之解集愈不被其它測試之解集所凌駕，即解集之品質愈好。

使用Intel® Pentium® II 300MHz處理器電腦設備，以Turbo Pascal 6.0版語言撰寫程式，進行8次測試結果如表2-4，經檢討獲得以下結論：

1. 由測試 1 之 DI 值明顯地較測試 7 為高可知，當族群數不大時，提高世代數可明顯改善求解品質；但由測試 2 與測試 8 具有相近的 DI 值來看，當族群數大到一定規模時，提高世代數並無益於求解品質，只會增加運算時間而已。
2. 由測試 2 與測試 8 分別相對於測試 1 之之 DI 值差距相當接近之現象，以及測試 8 較測試 7 有較多之族群數但卻有較高之 DI 值的情況來看，只提高族群數對求解品質並無助益。但由林楨家(民 88)之測試經驗判斷，上述情況應該是在族群數達一定規模以上時方成立，亦即當族群數很小時，提高族群數仍有益於求解品質。
3. 由測試 3、4、5、6 各自均有較測試 2 為低之 DI 值可驗證，若降低目標 3 的重要性，將使非劣解減少，且均有較不劣的解集；由附錄所列測試結果可知，這四個測試之目標一與目標二均有較測試 2 為高的目標值表現。顯示目標三在 SLM-III中確實具有影響力，且與其它兩個目標式間存在償付(trade-off)關係。

表 2-4 SLM-III簡例測試結果彙整

測試	近似非劣解數	運算時間(秒)	劣指標(DI)
1	19	945	15.58
2	21	4142	8.65
3	11	4325	3.82
4	4	2905	1.79
5	15	2361	2.96
6	3	3374	0.00
7	24	3043	5.42
8	29	7288	9.36

為使讀者瞭解SLM-III的輸出內容，本文挑選測試2的3個端點解(具有各個目標式之最大值)，將其配置結果展現如圖2-11；圖上顯示土地使用、運輸路網以及公共設施等項目之大致佈設位置，可作為後續方案評估與細部設計之基礎。

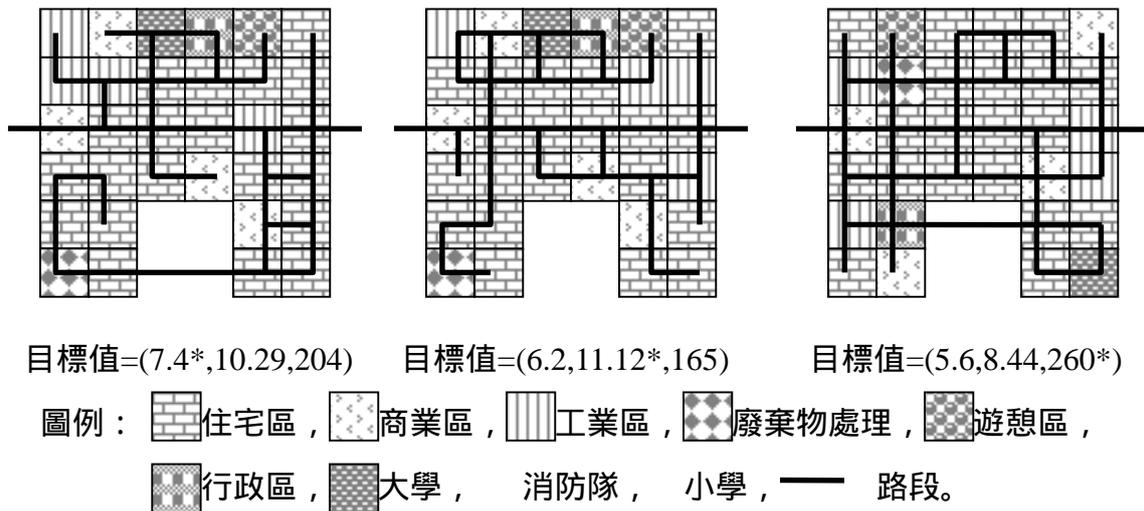


圖 2-11 SLM-III簡例測試輸出例(測試 2 端點解)

## 2.4 小結

本章說明結合SLM-II與MCLP構建SLM-III模式的過程與成果，所構建的模式是能同時進行土地使用、運輸路網以及公共設施等三個實質計畫部門整合配置的分析工具，協助規劃者有效且系統化地為新訂或擴大都市計畫案產生替選配置草圖，作為後續方案評估與細部設計作業之基礎。為檢證模式之可操作性與意義，並進行假想簡例測試，利用CGAC基因演算法，設定8種參數組合條件進行分析；分析結果不但驗證模式操作的可行性，並確認設施服務周延目標式在模式中的影響力，且與其它兩個目標式(生活環境和諧與都市發展效率)間存在償付關係；同時在演算法參數設定經驗上，並瞭解到當族群數或世代數達

到一定規模以上時，繼續提高這兩個參數值，對求解品質並無助益，只徒增運算時間。

雖然SLM-III已能考量設施之服務範圍課題而可處理諸如學校、公園等社區型公共設施之配置，但部份設施在配置時所須考量的因素或有不同，而無法一體適用MCLP之目標式或限制式；例如：緊急性設施可能較注重使最遠服務對象距設施的距離最小化，鄰避性設施可能希望在其影響範圍內儘量避免存在敏感受體；因此在應用模式時，必須注意所配置設施是否與模式中的考量因素契合。很幸運地，SLM模式本身具有修改的彈性，易於與其它種類配置模式結合，此項結合之需求性、可行性以及分析效果值得研究工作繼續探索。

### 第三章 區分路段種類

雖然SLM-III能夠同時進行「土地使用」、「運輸路網」以及「公共設施」三個部門的整體最佳化配置，但基於控制模式複雜度的考量，SLM一直未將旅運行為納入模式中分析，故無法區分配置路段之種類，亦即無法決定諸如主要道路或次要道路之區別，若能解除此項模式應用上的限制，將可提供規劃者更完整的協助以及更多的配置資訊，本章之目的即期望能在這項課題上有所突破。

為將旅運行為納入SLM中處理，本研究參考近來NDP問題之發展趨勢，以「二階規劃(bi-level programming)」型態建立SLM-IV模式。其中，上階問題為SLM-III模式，目的在決定土地使用、運輸路網以及公共設施之配置；下階問題為「旅次分佈與路網指派整合模式(combined distribution/assignment model, CDA)」，目的在依據上階問題的配置內容分析旅次分佈與路網指派等旅運行為，所決定之旅行時間則作為上階問題之輸入資料。

在對研究動機、問題背景以及文獻回顧進行說明後，本章將於3.1節說明SLM-IV之構建過程，然後在3.2節以一個14個分區、7種土地使用、2種路段以及2種公共設施之假想簡例，設定5種參數條件進行測試，並檢討配置結果之意義；最後於3.3節提出小結。

#### 3.1 SLM-IV模式

完整的道路系統是由各種等級或功能之道路所構成，因此規劃人員進行路網設計時，除了路線佈設之外，尚須決定道路之等級，例如一般都市計畫最常區分的聯外道路、主要道路、次要道路、社區巷道等。區分道路等級最重要的考量因素是運輸需求，傳統都市計畫道路系統的建立，通常是依據土地使用與路網佈設的結果，進行旅運行為分析，然後依照交通量多寡決定道路等級。因此，SLM模式在運輸路

網方面的輸出成果並未區分路段種類，而將此項區分任務留待後續細部設計作業中進行。SLM模式未區分路段類型的另一個原因，是為避開旅運行為分析，以控制模式的複雜度，這是參考過去LNDP問題研究文獻的經驗與建議(Lundqvist, 1973 ; Los, 1978 ; Los, 1979)。然而，將決定道路等級的工作與土地使用、運輸路網、公共設施等配置工作分開的作法，並不能保證可以得到整體最佳化的配置結果；因此有必要在SLM模式中進行路段類型的區分，以同時進行完整的配置分析；為達到這個目的，將旅運行為納入SLM中處理，是無可避免的作法。

如何將旅運行為分析納入SLM模式中處理？我們由NDP問題的發展尋找線索。如前所述，傳統NDP問題是在土地使用分佈已知情形下，尋求最佳的路網佈設；經過大約30年的發展，研究人員已具共識地將之視為Stackelberg競局，而以二階規劃(bi-level programming)建立模式進行分析，例如：LeBlanc and Boyce(1986)、 Ben-Ayed *et al.* (1988)、 Marcotte (1988)、 Kim and Suh (1988)、 Suh and Kim (1992)、 曹勝雄(民82)、 Yang and Bell (1998)等。二階規劃(或多階規劃，multi-level programming)模式由於適合處理牽涉多方決策者的複雜決策行為，因此最近幾年成為數學規劃研究領域的重要課題之一，例如：Bard(1983)、 Wen and Hsu(1991)、 Liu and Hart(1994)、 Sakawa *et al.*(1999)、 Calveta and Gale(1999)、 Meng *et al.*(2000)、 林佳宜(民85)、 李其風(民86)等。在二階規劃NDP之競局問題中存在兩個主體：一是決定路網配置的領導者(leader)，置於上階問題；二是依據上階問題所決定路網進行旅運行為的跟隨者(follower)，置於下階問題。上下階問題間的關係如圖3-1所示，下階問題所決定的旅行時間(或交通狀況)回過頭來又是上階問題所需要的輸入參數。

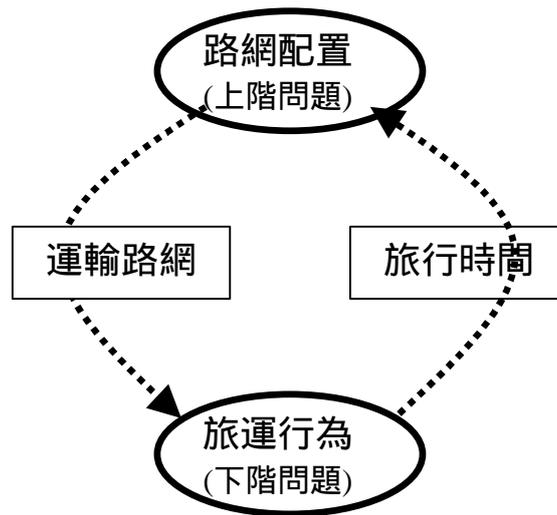


圖 3-1 NDP 問題二階規劃模式架構

上階問題一般考量的目標式為總旅行時間與總建設成本加權和之最小化，亦有研究將之分開成為二個目標式的多目標規劃問題；下階問題則可為使用者均衡、系統最佳化、或其它種類的路網指派模式；上下階問題均可依問題特性與分析需要來決定模式內容。由於 NDP 問題的二階規劃模式架構可清楚且有系統地表達及分析旅運行為，本研究以之作為修改 SLM 模式之架構。在上階問題方面，很明顯地可以直接使用 SLM-III 模式，由它決定配置內容，但原來使用旅行距離作為衡量因素的項目必須改用旅行時間方為合理。在下階問題方面，由於上階問題的決策變數包括土地使用，致使旅次分佈狀況無法如傳統 NDP 問題般地視為固定的已知條件而是變動的決策變數，因此傳統僅使用路網指派模式作為下階問題的作法並不適用。為將旅次分佈一併納入分析，本研究採用「旅次分佈與路網指派整合模式(combined distribution / assignment model, CDA)」作為下階問題；此種構想曾由 Boyce and Janson (1980) 提出認為可應用於 NDP 問題，而 Kim and Suh (1988) 則將

此構想模式化為二階規劃的 NDP 模式，但並未提出對應的求解方法、簡例測試或實證研究以驗證模式之可用性。

基於以上檢討，本研究提出 SLM-IV 之模式架構如圖 3-2；上階問題為 SLM-III，目的在決定土地使用、運輸路網以及公共設施之配置；下階問題為 CDA 模式，目的在依據上階問題的配置內容進行旅次分佈與路網指派分析，所決定的旅行時間則又作為上階問題的輸入變數。

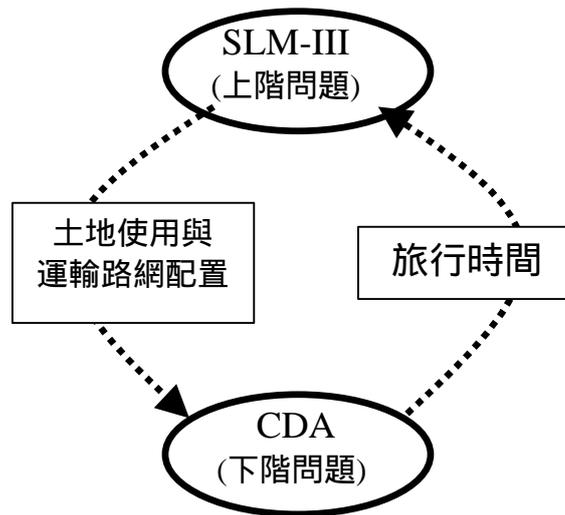


圖 3-2 SLM-IV 模式架構

在進行模式化之前，先對模式在運輸路網配置上的分析情境作一說明：假設待配置路段種類已事先決定，各類路段可能配置位置以及旅行時間與流量變化關係等條件已知，我們期望由模式決定各分區間所應配置的路段種類。因此修改後的 SLM 問題再由圖 2-5 更改為圖 3-3。

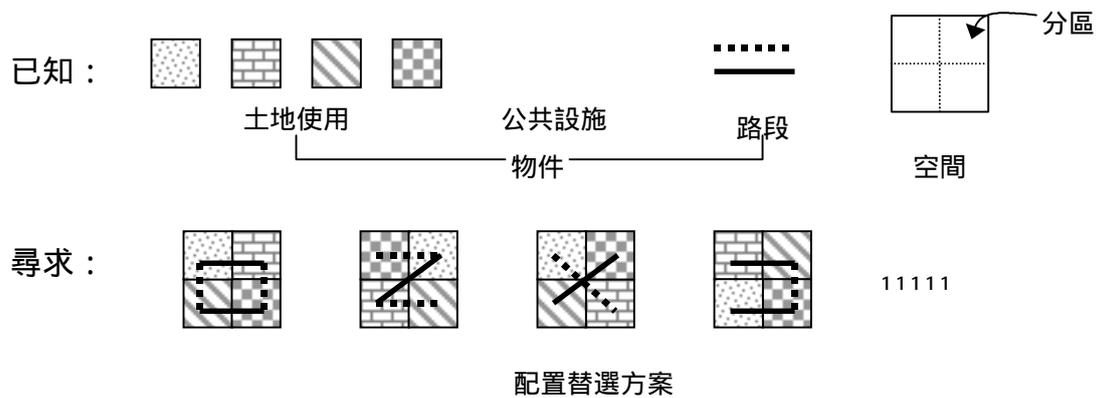


圖 3-3 SLM-IV模式問題示意

為表現修正後的模式，我們將變數定義整理如下：

通用部份：

- 1  $k, k'$ : 土地使用種類，已知條件；
- 1  $l$ : 路段種類，已知條件；
- 1  $f$ : 設施種類，已知條件；
- 1  $i, j, i', j'$ : 分析範圍內的分區，已知條件；
- 1  $i^*, j^*, i^\wedge, j^\wedge$ : 規劃範圍內的分區，即分析範圍扣除虛擬分區後的部分，已知條件；
- 1  $(ij, i'j') \in$  分區配對之集合， $ij \neq i'j', (i'j' \neq ij)$  代表同一個配對，不重複出現在集合中，已知條件。

上階問題土地使用部份：

- 1  $X^k$ : 土地使用  $k$  的總量，已知條件；
- 1  $X_{ij}^k$ : 土地使用  $k$  配置(=1)或不配置(=0)在  $ij$  區，決策變數；
- 1  $d_{i,j}$ :  $ij$  與  $i'j'$  間的空間直線距離，已知條件；
- 1  $h_{kk}^d$ :  $k$  感覺  $k'$  相距  $d$  時的環境和諧程度， $\in [0,1]$ ，已知條件；

1  $C^k$  : 不能配置土地使用  $k$  之分區集合, 已知條件。

上階問題運輸路網部份 :

1  $Y_{ij,l}^l$  :  $l$  種路段配置 (=1) 或不配置 (=0) 在  $ij$  與  $ij$  間, 決策變數 ;

1  $r_{kk}$  :  $k$  與  $k$  間的關聯程度,  $\in [0,1]$  , 已知條件 ;

1  $A_{ij,l}$  :  $ij$  與  $ij$  間的交通可及性,  $\in [0,1]$  , 由  $tt_{ij,ij}$  決定 ;

1  $w_{ij,l}^l$  :  $ij$  與  $ij$  間若設置  $l$  種路段之成本當量, 已知條件 ;

1  $s$  : 係數,  $s > 0$  , 已知條件 ;

1  $M$  : 極大之正實數, 已知條件 ;

1  $C^l$  : 不能配置路段  $l$  之分區配對集合, 已知條件 ;

1  $tt_{ij,ij}$  :  $ij$  與  $ij$  間最短路徑的旅行時間, 由  $Y$  以及下階問題之  $t_a(q_a)$  決定。

上階問題公共設施部份 :

1  $C^f$  : 不能配置設施  $f$  之分區集合, 已知條件 ;

1  $F^f$  : 設施  $f$  待配置總數, 已知條件 ;

1  $p_k^f$  : 土地使用  $k$  對設施  $f$  之需求程度(例如居住人口數), 已知條件 ;

1  $N^f$  : 設施  $f$  之合理服務範圍(以旅行時間衡量), 已知條件 ;

1  $Z_{ij}^f$  : 設施  $f$  配置 (=1) 或不配置 (=0) 在  $ij$  區, 決策變數 ;

1  $m_{ij}^f$  :  $ij$  區在 (=1) 或不在 (=0) 設施  $f$  之服務範圍內, 由  $Z$  決定。

下階問題部份 :

1  $t_a(q_a)$  : 路段  $a$  在流量  $q_a$  情形下之旅行時間, 由  $q_a$  以及上階問題之  $Y$  決定 ;

1  $q_a$  : 路段  $a$  之流量, 由  $f$  決定 ;

1  $\chi$  : 係數, 已知條件 ;

- 1  $T_{ij,ij^*}$  : 由  $ij$  到  $ij^*$  的旅次數(旅次分佈), 由  $f$  決定;
- 1  $f_{ij,ij^*}^h$  : 由  $ij$  到  $ij^*$  使用路徑  $h$  之旅次數, 決策變數;
- 1  $O_{ij}$  : 自  $ij$  出發之旅次數, 由上階問題之  $X$  決定;
- 1  $D_{ij}$  : 到達  $ij$  之旅次數, 由上階問題之  $X$  決定;
- 1  $OR^k$  : 每個土地使用物件  $k$  之旅次出發率(旅次/小時), 已知條件;
- 1  $DR^k$  : 每個土地使用物件  $k$  之旅次到達率(旅次/小時), 已知條件;
- 1  $\delta_{ij,ij^*}^{a,h} = \begin{cases} 1, & \text{若 } a \text{ 在 } ij \text{ 與 } ij^* \text{ 間的路徑 } h \text{ 上} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$ , 由上階問題之  $Y$  決定。

依據模式架構與變數意義, 「草圖分析模式IV型 ( Sketch Layout Model - type IV, SLM-IV )」之數學式整理如下:

[P4]

[上階問題]

$$\text{Max} \quad \text{Min} \left\{ 10^{M(1-X_{i^*j^*}^k)} [\sum_{ijk} (X_{ij}^k h_{kk}^d)], \forall i^*, j^*, k; ij \neq i^* j^* \right\} \quad (38)$$

$$\text{Max} \quad \left\{ \sum_{(i^*j^*,ij)} [1 - \left| \sum_{k,k'} (X_{i^*j^*}^k X_{ij}^{k'} r_{kk'}) - A_{i^*j^*,ij} \right|] \right\} \div \sum_{(i^*j^*,i^*j^*)} (w_{i^*j^*,i^*j^*}^f Y_{i^*j^*,i^*j^*}^f) \quad (39)$$

$$\text{Max} \quad \sum_f \sum_{i^*j^*} \sum_k (p_k^f X_{i^*j^*}^k m_{i^*j^*}^f) \quad (40)$$

$$\text{S.T.} \quad \sum_{ij} X_{ij}^k = X^k, \forall k \quad (41)$$

$$\sum_j Y_{ij,ij^*}^f \leq 1, \forall (ij, i^* j^*) \quad (42)$$

$$\sum_{i^*j^*} Z_{i^*j^*}^f = F^f, \forall f \quad (43)$$

$$\sum_k X_{ij}^k = 1, \forall ij \quad (44)$$

$$w_{i^*j^*,i^*j^*}^f \neq \infty, \forall (i^* j^*, i^* j^*) \quad (45)$$

$$X_{ij}^k = 0, \forall ij \in C^k \quad (46)$$

$$Y_{ij,ij^*}^f = 0, \forall (ij, i^* j^*) \in C^f \quad (47)$$

$$Z_{ij}^f = 0, \forall ij \in C^f \quad (48)$$

$$X_{ij}^k = 1, \forall k \text{ 已存在於 } ij \text{ 區} \quad (49)$$

$$Y_{ij,ij^*}^f = 1, \forall ij \text{ 與 } i^* j^* \text{ 間已有路段 } f \text{ 存在} \quad (50)$$

$$Z_{ij}^f = 1, \forall f \text{ 已存在於 } ij \text{ 區} \quad (51)$$

$$m_{i^*j^*}^f \leq \sum_{ij \in Q_{i^*j^*}^f} Z_{ij}^f, \forall i^* j^*, f \quad (52)$$

$$\text{Where } X_{ij}^k, Y_{ij,l}^l, Z_{ij}^f, m_{i^*j^*}^f \in \{0,1\}, \forall k, ij, (ij, l, j'), f \quad (53)$$

$$A_{i^*j^*,ij} = (tt_{i^*j^*,ij})^{-1/\beta} \quad (54)$$

$$d = d_{i^*j^*,ij} \quad (55)$$

$$Q_{i^*j^*}^f = \{ij | tt_{i^*j^*,ij} \leq N^f\} \quad (56)$$

$$tt_{ij,l} \text{ 由下階問題決定} \quad (57)$$

### [下階問題]

$$\text{Min } \sum_a \int_0^{Q_a} t_a(x) dx + \frac{1}{\gamma} \sum_{ij,l,j'} (T_{ij,l,j'} \ln T_{ij,l,j'} - T_{ij,l,j'}) \quad (58)$$

$$\text{S.T. } \sum_h ff_{ij,l,j'}^h = T_{ij,l,j'}, \forall ij, l, j' \quad (59)$$

$$\sum_{i,j} T_{ij,l,j'} = O_{ij}, \forall ij \quad (60)$$

$$\sum_{ij} T_{ij,l,j'} = D_{l,j'}, \forall l, j' \quad (61)$$

$$ff_{ij,l,j'}^h \geq 0, \forall h, ij, l, j' \quad (62)$$

$$q_a = \sum_{ij} \sum_{l,j'} \sum_h ff_{ij,l,j'}^h \delta_{ij,l,j'}^{a,h}, \forall a \quad (63)$$

$$\text{Where } \delta_{ij,l,j'}^{a,h} = \begin{cases} 1 & \text{若路段 } l \text{ 位於起迄點 } ij-l, j' \text{ 間路徑 } h \text{ 上} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (64)$$

$$O_{ij} = \sum_k (X_{ij}^k OR^k) \quad (65)$$

$$D_{l,j'} = \sum_k (X_{ij}^k DR^k) \quad (66)$$

$$\text{土地使用分佈}(X) \text{與路網配置}(Y) \text{由上階問題決定} \quad (67)$$

基本上，[P4]之上階問題與[P3]問題相同，但作了幾項修正：一是部份運輸路網相關變數或參數改變為必須區分路段種類( $l$ )，包括決策變數由  $Y_{ij,l}$  變更為  $Y_{ij,l,j'}$ 、第二個目標式參數原使用(18)式  $w_{ij,l}$  變更為(39)式之  $w'_{ij,l,j'}$ 、以及第七個限制式參數原使用(25)式  $C^A$  變更為(47)式之  $C^l$  等。二是原來以路徑距離( $D_{ij,l}$ ) 衡量之特性更改為以旅行時間( $tt_{ij,l}$ ) 衡量，包括：(45)式各分區間均須有路徑相連之限制、(54)式分區間可及性程度之衡量、以及(56)式位於設施服務範圍內分區集合之定義等。三是於(42)式增加相鄰兩分區間最多只能配置一種路段之限制。四是於(57)式增加旅行時間須由下階問題決定之定義。[P4]下階問題使用Even

s(1976)所提出CDA模式(但採用Sheffi(1985)所列型式，又被稱為「doubly constrained entropy distribution/assignment problem」)，在來自上階問題土地使用與運輸路網配置結果之給定條件下，可分析得到符合最大entropy模式(或是起迄流量守恒重力模式)之旅次分佈結果以及使用者均衡路網指派結果；其中，各分區之旅次發生係由土地使用配置結果決定，如(65)式與(66)式之定義。有關CDA模式之相關研究，另可參閱Tomlin(1971)、Florian *et al.* (1975)、Jornsten(1980)、Boyce(1984)、Chen and Chen(1999)、Meng *et al.* (2000)等文獻。SLM-IV上下階問題間變數輸出入關係如圖3-4示意。

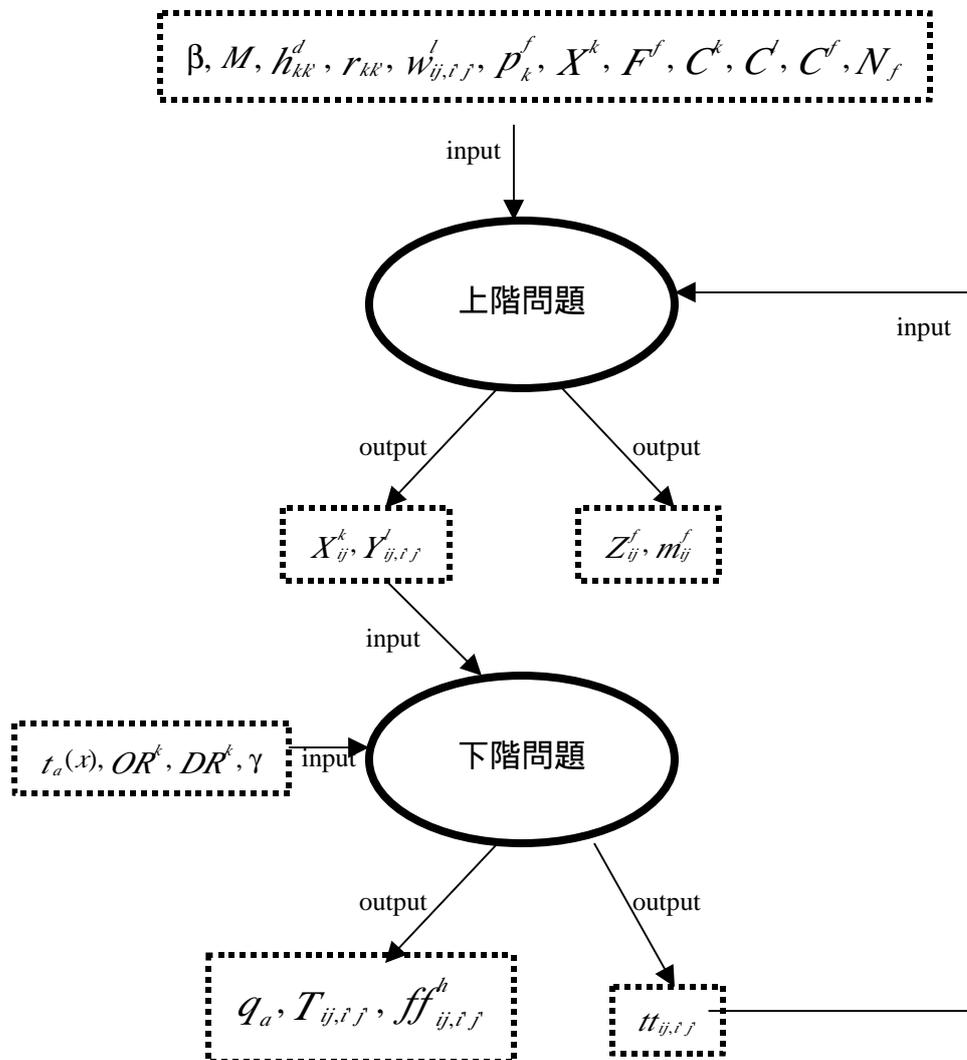


圖 3-4 SLM-IV上下階問題間變數輸出入關係

## 3.2 簡例測試

為檢證SLM-IV模式之可操作性與特性，本研究進行假想簡例之測試與比較，以下分就簡例條件、演算法步驟以及測試成果檢討等三部分進行說明。

### 3.2.1 簡例條件

假設規劃範圍如圖3-5(a)，等分為14個分區；分析範圍如圖3-5(b)，增加10個虛擬分區；已存在而無法更動之物件為一單位住宅區以及一條聯外路徑，如圖標示。聯外道路所連接的虛擬分區代表對外連繫方向的虛擬空間，以「區外」稱之；其餘虛擬分區只為程式運算需要，不配置物件，稱為「保留」。總計分析範圍內有24個分區，其中14個分區屬規劃範圍(但1個分區已被土地使用物件佔據)，10個分區屬虛擬分區(8個為保留分區、2個為區外分區)。

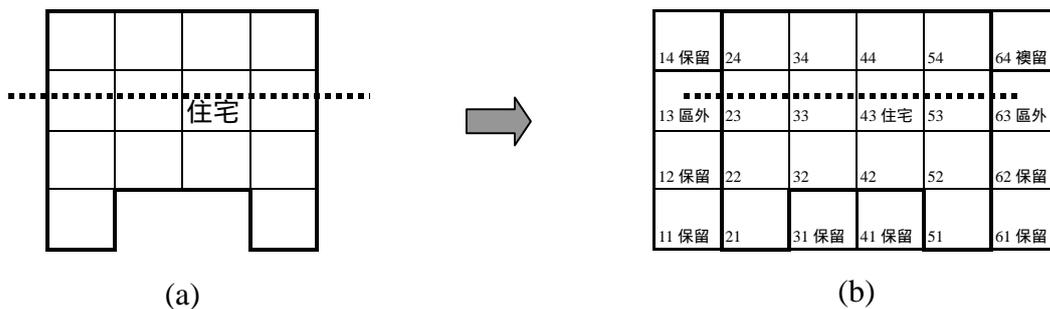


圖 3-5 SLM-IV簡例空間

假設計有7種土地使用，數量如表3-1所示，參數 $\xi$ 、 $\gamma$ 均設為1， $h_{kk}^d$  (和諧程度)與 $r_{kk}$  (關聯程度)值同樣如圖2-7所示。待配置公共設施有2種，數量如表3-2所示；參數 $p_k^f$  (設施需求程度)紀錄於表3-1， $N^f$  (設施服務範圍半徑)紀錄於表3-2。規劃範圍內可能配置的運輸路段有17個，另有3個路段已存在規劃範圍內，2個路段已存在於由規劃範圍連接至

區外；路段分為主要道路( $l=1$ )與次要道路( $l=2$ )兩種， $w^2$ 設為路段起迄點間空間直線距離長度， $w^1$ 為 $w^2$ 之1.5倍，旅行時間與流量關係式如下式：

$$t_a = t_0 \times \left[ 1 + 0.15 \left( \frac{q_a}{CAP_a} \right)^4 \right] \quad (68)$$

其中， $t_a$ 與 $q_a$ 同[P4]定義， $t_0$ 為路段自由流旅行時間(每單位路段設為1分鐘)， $CAP_a$ 為路段 $a$ 容量，本研究將設定不同容量值組合來測試配置變化。各類土地使用之旅次出發率( $OR^k$ )與到達率( $DR^k$ )設如表3-1，旅運行為分析情境為上午尖峰時間。

表 3-1 SLM-IV簡例土地使用物件

k	土地使用	待配置數目	已存在數目	總數目 $X^k$	旅次出發率 ( $OR^k$ ) pcu/hr	旅次到達率 ( $DR^k$ ) pcu/hr	對設施需求程度 ( $p_k^f$ )	
							消防隊 ( $f=1$ )	小學( $f=2$ )
1	住宅區	5	1	6	400	100	8	10
2	商業區	2	0	2	200	600	10	8
3	工業區	2	0	2	200	500	7	0
4	廢棄物處理	1	0	1	100	100	1	0
5	遊憩區	1	0	1	100	200	1	0
6	行政區	1	0	1	100	300	7	0
7	大學	1	0	1	100	200	7	0
8	區外	0	2	2	200	200	-	-
9	保留	0	8	8	0	0	-	-
合計		13	11	24	-	-	-	-

表 3-2 SLM-IV簡例公共設施物件

$f$	公共設施	服務對象	待配置數目 $F^f$	服務範圍半徑 $*N^f$
1	消防隊	所有土地使用物件	2	1.5 分鐘
2	小學	住宅區、商業區	1	3 分鐘

\*假設每單位路段之自由流旅行時間  $t_0=1$  分鐘。

### 3.2.2 演算法說明

SLM-IV為二階規劃問題，因非凸性(non-convex)而存在局部最佳化現象，加上0-1整數、非線性、多目標等特性，若要得到真正解是困難而不符效率的期望。由於屬基因演算法之CGAC(cumulative genetic algorithm with constraints)啟發式演算法具平行尋優能力，適合處理具局部最佳化特性之問題，且之前在三種SLM模式上應用效果良好，同時求解能力業經驗證(林楨家，民88)，因此本研究以之為基礎進行修改，用來求解SLM-IV之近似非劣解集。演算流程如圖3-6所示，各步驟說明如下：

步驟 1 編碼與參數設定：首先須將決策變數以「布林變數(boolean variables)」型式編碼。本簡例以3個字元(bit)，或稱基因(gene)，代表某一分區配置的土地使用種類，以2個基因代表某一可能路段設置某種道路，以2個基因代表某一分區是否配置某種公共設施，在 $I \times J$ 個分區、 $A$ 個可能路段、2種路段以及2種公共設施情形下，整個字串(string)，或稱染色體(chromosome)，將包含 $3 \times I \times J + 2 \times A + 2 \times I \times J$ 個基因，如圖3-7所示。另外尚須設定三個控制參數，世代數(generation size)與族群數(population size)依照先前測試經驗，應在電腦處理容量以及作業時間之限制下，儘量設的愈大愈好，本次測試二者均設為30；突變率(mutation probability)一般建議設定為族群數的倒數(Goldberg, 1989)，本次測試設為0.03。

步驟 2 產生可行的起始解：本步驟開始進入「起始程序(initial process)」，目的在產生符合限制條件的染色體，本研究採取條件隨機與反覆測試的方法，搜尋可行起始解，並將之稱為「優生選種」機制。

步驟 3 旅運行為分析：依據步驟2或步驟10所產生可行解之配置內容，進行旅運行為分析，亦即求解[P4]下階問題。本研究採用

convex combination algorithm，作法是由一個起始解開始，反覆的決定尋優方向(由一個運輸問題求解決定)與前進步距(由一個一維尋優問題求解決定)，直到前後兩個解之間無明顯差距為止，詳細過程可參考Sheffi(1985)在186頁之說明。本步驟所決定的旅行時間將作為步驟5或步驟12計算目標值與適合度的依據。

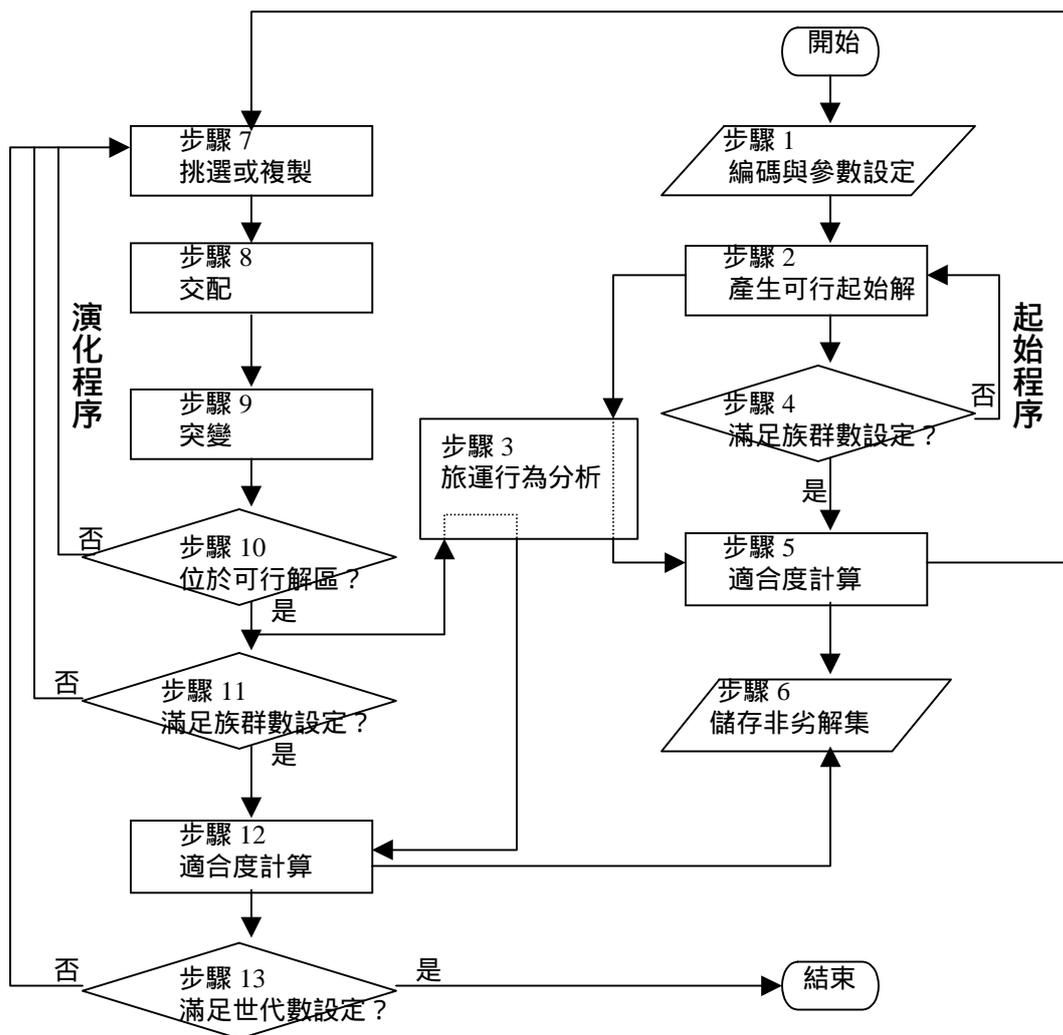


圖 3-6 SLM-IV之 CGAC 演算流程

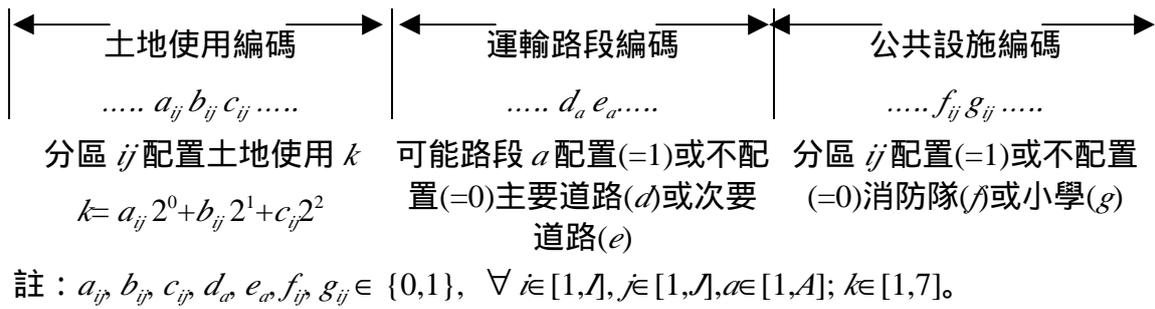


圖 3-7 SLM-IV簡例編碼方式示意

步驟 4 檢查設定的族群數是否滿足，若尚未到達設定值，回到步驟 2 繼續執行。

步驟 5 適合度計算：本研究目的在尋找非劣解集，若  $A$  解在各個目標式的表現均不劣於  $B$  解，則稱  $A$  解「凌駕(dominate)」 $B$  解，若某一個解完全不被其它解凌駕，則稱之為非劣解。故就某個世代所產生族群中的各個染色體，在兩個目標式的表現水準上，被其它染色體凌駕的次數愈少，表示其愈接近非劣解，我們以下式說明上述觀念並作為適合度指標：

$$\text{適合度} = f = \left(1 - \frac{\text{被凌駕的次數}}{\text{族群數} - 1}\right) \times 100\% \quad (69)$$

步驟 6 儲存非劣解集：將適合度為100的染色體儲存在非劣解集中。

步驟 7 挑選(或複製)：此步驟開始進入「演化程序(evolutionary process)」。依據「賭博輪盤(roulette wheel)」方法，以下式決定每一染色體被選中進行繁衍後代的機率：

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (70)$$

$P_i$  :  $i$ 染色體被選中機率；

$f_i$  :  $i$ 染色體之適合度；

$n$  : 族群數。

步驟 8 交配：傳統基因交配方法並不適用於本文問題，經過實際測試發現，會發生為滿足限制條件，而很容易地挑選到相同或相似的母代染色體進行交配，產生近親繁殖，使第4或第5世代後就陸續出現完全相同的染色體，亦即發生了族群衰蔽現象。為改正這個缺失，本研究另使用「優生交配」機制，包括三個程序：一是隨機決定交配次數，二是同時對兩個母代隨機挑選不必然相同位置的基因進行交配，三是反覆進行直到交配次數獲得滿足為止；如圖3-8示意。



圖 3-8 SLM-IV簡例優生交配過程(以 3 次交配為例)

步驟 9 突變：於0到1間產生一個隨機亂數，當亂數值小於所設定突變率時，更動其基因值(0 1, 1 0)。

步驟 10 自然淘汰機制：將前述經過複製、交配、突變過程所產生新的染色體，就每一項限制式檢測其是否位於可行解區，若是，則列為子代，並執行步驟3進行旅運行為分析。

步驟 11 檢測子代數目是否滿足設定之族群數。

步驟 12 計算子代適合度，並將適合度為100的子代與步驟 5之非劣解集進行凌駕比較，將比較後仍是非劣解的染色體留存更新該非劣解集。

步驟 13 檢測是否滿足設定之世代數。

### 3.2.3 測試結果與檢討

為探討道路容量高低對配置結果的影響，設定5種參數組合進行測試，如表3-3所示。其中，測試1為容量最高者，使流量對旅行時間的影響幾乎不存在；測試5為容量最低者，少許流量即對旅行時間產生很大影響；中間三個測試則依序降低其容量。由於容量降低將會提高旅行時間，故預期對與旅行時間有關的目標二與目標三會有影響。

表 3-3 SLM-IV簡例測試容量設定值

測試	1	2	3	4	5
主要道路	1000	400	200	100	20
次要道路	500	200	100	50	10

單位：pcu / hr。

使用Intel® Pentium® II 300MHz處理器電腦設備，以Turbo Pascal 6.0版語言撰寫程式，進行5次測試結果如表3-4。經檢討獲得以下結論：

由於目標一與旅行時間無關，故其值應不受容量設定值而影響，此項預期與表 3-4 測試結果相符。

1. 目標二雖與旅行時間有關，但其值卻未因容量設定值而變化，原因在於：該目標期望使任兩組合間之土地使用關聯程度與空間可及程度愈相當，亦即高關聯度者搭配高可及性，且低關聯度者搭配低可及性；旅行時間提高雖會降低高關聯度土地使用間之聚集利益，但

也同時增加低關聯度土地使用間之聚集利益，所以在正負效果互相抵銷之下，使容量設定值對目標二未產生明顯影響。

2. 目標三因為設施服務範圍以旅行時間表示，容量降低而增加旅行時間將使服務範圍內之服務對象減少，由表 3-4 可發現，目標三之值確隨容量設定值降低而減少。
3. 非劣解數目不隨容量設定值變化而有明顯的改變趨勢。
4. 五次測試之運算時間並無明顯變化趨勢，顯示運算時間不受容量設定值所影響；依據之前的測試經驗可知，影響運算時間的因素仍以世代數與族群數兩項設定值為主。

表 3-4 SLM-IV簡例測試結果彙整

測試	目標值			非劣解數目	運算時間(秒)
	一	二	三		
1	2.8~3.2	3.43~4.66	61~114	10	11,191
2	2.0~3.7	2.77~5.18	71~125	11	11,392
3	1.2~3.1	2.54~4.56	71~110	12	12,069
4	2.4~3.3	3.21~5.26	9~90	14	9,207
5	2.1~2.9	3.43~4.36	18~45	9	14,953

為使讀者瞭解SLM-IV的輸出內容，本研究挑選測試3的3個端點解(具有各個目標式之最大值)，將其配置結果展現如圖3-9；圖上顯示土地使用、運輸路網以及公共設施等項目之大致佈設位置，可作為後續方案評估與細部設計之基礎。



目標值=(3.1\*, 3.62, 91)      目標值=(2.9, 4.74\*, 71)      目標值=(1.9, 2.54, 110\*)  
 圖例：住宅區，商業區，工業區，廢棄物處理，遊憩區，  
 行政區，大學，消防隊，小學，—— 主要道路；..... 次要道路。

圖 3-9 SLM-IV簡例測試輸出例(測試 3 端點解)

### 3.3 小結

本章說明結合SLM-III與CDA構建二階規劃SLM-IV的過程與成果，所構建的模式能分析旅次分佈與路網指派之旅運行為，使SLM模式不僅能同時進行土地使用、運輸路網以及公共設施等三個實質計畫部門的整合配置，同時又能區分路段種類，協助規劃者有效且系統化地為新訂或擴大都市計畫案產生替選配置草圖，作為後續方案評估與細部設計作業之基礎。為檢證模式之可操作性與意義，並進行假想簡例測試，利用CGAC基因演算法，設定5種道路容量值進行分析；分析結果不但驗證模式的可操作性，並確認與旅行時間有關的目標式會受到容量設定值的影響，但運算時間和非劣解數目與容量設定值之間並無關聯。

雖然SLM發展到第IV型模式，已可完整地對實質計畫項目進行配置，但純粹由旅運需求決定路段種類的作法，尚存在兩項課題值得進一步改善：一是路網的結構性要求被模式所忽略，如圖3-9所示，路段之間的連續性與層級性並未被考量，致產生不同種類路段斷續出現的不合理現象。二是路段種類與沿線土地使用間的和諧性要求未被考

量，例如講求寧適的住宅區與交通量較大的主要道路之間在環境協調性上可能會有衝突，此種和諧性的考量並未在模式中處理。為使SLM能納入更多配置作業上須考量的因素，以提供規劃人員更多且更需要的協助，前述兩項課題應是模式在運輸路網方面相當重要的後續研究方向。

## 第四章 結論與建議

### 4.1 結論

本研究在SLM模式之改善上獲得兩項具體成果。一是結合SLM-II與MCLP構建SLM-III模式，使能同時進行土地使用、運輸路網以及公共設施等三個實質計畫部門的整合配置，協助規劃者有效且系統化地為新訂或擴大都市計畫案產生替選配置草圖。為檢證模式之可操作性與意義，並進行假想簡例測試，利用CGAC基因演算法，設定8種參數組合條件進行分析；分析結果不但驗證模式操作的可行性，並確認設施服務周延目標式在模式中的影響力，且與其它兩個目標式(生活環境和諧與都市發展效率)間存在償付關係；同時在演算法參數設定經驗上，並瞭解到當族群數或世代數達到一定規模以上時，繼續提高這兩個參數值，對求解品質並無助益，只徒增運算時間。第二個成果是進一步結合SLM-III與CDA構建二階規劃SLM-IV模式，使能分析旅次分佈與路網指派之旅運行為，使SLM模式不僅能同時進行土地使用、運輸路網以及公共設施等三個實質計畫部門的整合配置，同時又能區分路段種類，協助規劃者有效且系統化地為新訂或擴大都市計畫案產生替選配置草圖。為檢證模式之可操作性與意義，並進行假想簡例測試，利用CGAC基因演算法，設定5種道路容量值進行分析；分析結果不但驗證模式的操作性，並確認與旅行時間有關的目標式會受到容量設定值的影響，但運算時間和非劣解數目與容量設定值之間並無關聯。

## 4.2 建議

雖然本研究已將公共設施配置與區分路段種類納入SLM模式中處理，但二者仍存在後續研究課題值得進一步深入探討：

1. 部份設施在配置時所須考量的因素或有不同，而無法一體適用MCLP之目標式或限制式；例如：緊急性設施可能較注重使最遠服務對象距設施的距離最小化，鄰避性設施可能希望在其影響範圍內儘量避免存在敏感受體；因此在應用模式時，必須注意所配置設施是否與模式中的考量因素契合。很幸運地，SLM模式本身具有修改的彈性，易於與其它種類配置模式結合，此項結合之需求性、可行性以及分析效果值得研究工作繼續探索。
2. 純粹由旅運需求決定路段種類的作法，尚存在兩項課題值得進一步改善：一是路網的結構性要求被模式所忽略，致產生不同種類路段斷續出現的不合理現象。二是路段種類與沿線土地使用間的和諧性要求未被考量，例如講求寧適的住宅區與交通量較大的主要道路之間在環境協調性上可能會有衝突，此種和諧性的考量並未在模式中處理。為使SLM能納入更多配置作業上須考量的因素，以提供規劃人員更多且更需要的協助，前述兩項課題應是模式在運輸路網方面相當重要的後續研究方向。

## 參考文獻

1. 李其風，民86，「電動機車電瓶交換站配置方式之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
2. 林佳宜，民85，「大眾運輸補貼分配制度之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
3. 林楨家，民88，「都市計畫草圖替選方案分析模式」，交通大學交通運輸研究所博士論文。
4. 曹勝雄，民82年，「路網設計問題啟發式解法與其多目標決策之研究」，交通大學交通運輸研究所博士論文。
5. 曾國雄、林楨家，民 86，「淡海新市鎮消防隊佈設區位之研究 TOPSIS 多目標規劃法之應用」，都市與計畫，第 24 卷，第 1 期，第 81-98 頁。
6. 馮正民，民87，「都市計畫草圖配置模式」，國科會專題研究報告，NSC87-2415-H-009-005。
7. 馮正民、林楨家，民86，「都市計畫草圖替選方案之分析模式」，都市與計畫，第二十四卷，第二期，第153~169頁。
8. 馮正民、林楨家，民89，「都市計畫草圖替選方案分析模式之改進：納入公共設施配置」，都市與計畫，已接受刊登。
9. 樓邦儒，民 84，「台北市消防隊多目標區位模式之研究」，中國文化大學地學研究所地理組碩士論文。
10. Bammi, D. and Bammi, D., 1979, "Development of comprehensive land use plan by means of a multiple objective mathematical programming model," *INTERFACES*, Vol. 9, No. 2, pp. 50-63.
11. Bammi, D., Bammi, D. and Paton, R, 1976, "Urban planning to

- minimize environmental impact,” *Environment and Planning A*, Vol. 8, pp. 245-359.
12. Barber, G. M., 1976, “Land-use plan design via interactive multiple-objective programming,” *Environment and Planning A*, Vol. 8, pp. 625-636.
  13. Bard, J. F., 1983, “ An efficient point algorithm for a linear two-stage optimization problem,” *Operations Research*, Vol.31, No.4, pp.670-684.
  14. Batta R., Dolan, J. M. and Krishnamurthy, N. N., 1989,” The maximal expected covering location problem: Revisited,” *Transportation Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 277-287.
  15. Batta, R. and Mannur, N. R., 1990,” Covering- location models for emergency situations that require multiple response units,” *Management Science*, Vol. 36, No. 1, pp. 16-23.
  16. Ben-Ayed, O., Boyce, D. E., Blair, C. E. III, 1988, “ A general bilevel linear programming formulation of the network design problem,” *Transportation Research B*, Vol. 22B, No.4, pp.311-318.
  17. Boyce, D. E., 1984,” Urban transportation network-equilibrium and design models: recent achievements and future prospects,” *Environment and Planning A*, Vol.16, pp.1445-1474.
  18. Boyce, D. E., Janson, B. N., 1980,” A discrete transportation network design problem with combined trip distribution and assignment,” *Transportation Research B*, Vol.14B, pp.147-154.
  19. Brotchie, J. F., 1978, “A new approach to urban modelling,” *MANAGEMENT SCIENCE*, Vol. 24, No. 16, pp. 1753-1758.

20. Brotchie, J. F., Dickey, J. W. and Sharpe, R., 1980, *TOPAZ - General planning technique and its applications at the regional, urban, and facility planning levels.*
21. Calvete, H. I., Gale, C, 1999,” The bilevel linear/linear fractional programming problem,” *European Journal of Operational Research*, 114, pp.188-197.
22. Chen, H.-K., Chen, Y.-C., 1999,” Comparisons of the Frank-Wolfe and Evans methods for the doubly constrained entropy distribution/assignment problem,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.3, No.5, pp.261-275.
23. Church, R. L. and ReVelle, C., 1974, “The maximal covering location problem,” *Papers of the Regional Science Association*, Vol. 32, No. 101, pp. 101-118.
24. Church, R. L., 1980,” Developing solid waste planning regions for Tennessee Valley authority,” *Modelling and Simulation*, 11, pp. 1611-1618.
25. Church, R. L., 1984,” The planar maximal covering location problem,” *Journal of Regional Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 185-201.
26. Courtney, B. M., 1978,” Raingage network design,” research paper for M.E. degree, Department of Industrial Engineering, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee.
27. Current, J. R. and Storbeck, J. E., 1988,” Capacitated covering models,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 15, pp. 153-163.
28. Daskin M. S., 1983,” A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution,” *Transportation Science*,

Vol. 17, No. 1, pp. 48-70.

29. Dokmeci, V. F., 1993, "Multiobjective land-use planning model," *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 119, No. 1, pp. 15-22.
30. Dwyer, F. R. and Evans, J. R., 1981, "A branch and bound algorithm for the list selection problem in direct mail advertising," *Management Science*, 27, pp. 658-667.
31. Eaton, D. and Daskin, M., 1980, "Analysis of emergency medical services in Austin, Texas; Volume I: Results," LBJ School of Public Affairs, University of Texas, Austin, Texas.
32. Eaton, D., Church, R. L., Bennett, V. L., Hamon, B. L. and Lopez, L. V., 1981, "Ubicacion de recursos de salud en las zonas rurales del cauca, Colombia," Institute for Latin American Studies, Technical Paper Series No. 32, University of Texas, Austin, Texas.
33. Evans, S. P., 1976, "Derivation and analysis of some models for combining trip distribution and assignment," *Transportation Research*, Vol.10, pp.37-57.
34. Feng, C. -M. and Lin, J. -J., 1999<sup>a</sup>, "Using a genetic algorithm to generate alternative sketch maps for urban planning," *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 23, No.2, pp. 91-108.
35. Feng, C. -M. and Lin, J. -J., 1999<sup>b</sup>, "A land use-network design model to generate alternative sketch maps for urban planning," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol, 3, No.4, pp. 71-86.
36. Florian, M., Nguyen, S., Ferland, J., 1975, "On the combined distribution-assignment of traffic," *Transportation Science*, Vol.9, No.1,

pp.43-53.

37. Goldberg , D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Reading, MA: Addison-Wesley.
38. Gorden, P. and MacReynolds, W. K., 1974, "Optimal urban forms," *JOURNAL OF REGIONAL SCIENCE*, Vol. 14, No. 2, pp. 217-231.
39. Haghani, A., 1996," Capacitated maximum covering location models: Formulations and solution procedures," *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 30, No. 3, pp. 101-136.
40. Hamon, B. L., Eaton, D. J. and Church, R. L., 1979," Development of a multi-purpose ambulance system," *Modelling and Simulation*, 10, pp. 1437-1445.
41. Hogan, K. and ReVelle, C., 1986, "Concepts and applications of backup coverage," *Management Science*, Vol. 32, No. 11, pp. 1434-1444.
42. Hougland, E. S. and Stephens, N. T., 1976," Air pollution monitor siting by analytical techniques," *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26, pp. 51-53.
43. Janson, B. N. and Husaini, A., 1987, "Heuristic ranking and selection procedures for network design problems," *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 21, pp.17-46.
44. Jornsten, K. O., 1980," A maximum entropy combined distribution and assignment model solved by benders decomposition," *Transportation Science*, Vol.12, No.3, pp.262-276.
45. Kim, T. J., Suh, S., 1988," Toward developing a national transportation planning model: a bilevel programming approach for Korea," *Annal of*

- Regional Science, XXSPED, pp.65-80.
46. LeBlanc, L. J. and Boyce, D. E., 1986, "A bilevel programming problem with user-optimal flows," *Transportation Research B*, Vol. 20B, No.3, pp.259-265.
  47. Leblanc, L. J., 1975, "An algorithm for the discrete network design problem," *Transportation Science*, 9, pp. 183-199.
  48. Liu, Y.-H., Hart, S. M., 1994," Characterizing an optimal solution to the linear bilevel programming problem," *European Journal of Operational Research*, 79, pp.164-166.
  49. Los, M., 1978, "Simultaneous optimization of land use and transportation - a synthesis of the quadratic assignment problem and the optimal network problem," *Regional Science and Urban Economics* 8, pp. 21-42.
  50. Los, M., 1979, "A discrete-convex programming approach to the simultaneous optimization of land use and transportation," *Transportation Research B*, Vol. 13B, pp. 33-48.
  51. Lundqvist, L., 1973, "Integrated location-transportation analysis; a decomposition approach," *REGIONAL AND URBAN ECONOMICS*, Vol. 3, No. 3, pp. 233-262.
  52. MacKinnon, R. D. and Hodgson, M. J., 1970, "Optimal transportation networks: a case study of highway systems," *Environment and Planning*, Vol. 2, pp. 267-284.
  53. Magnanti, T. L. and Wong, R. T., 1984, "Network design and transportation planning: models and algorithms," *Transportation Science*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-55.

54. Marcotte, P., 1988, " A note on a bilevel programming algorithm by LeBlanc and Boyce," *Transportation Research B*, Vol.22b, No.3, pp.233-237.
55. Mehrez, A. and Stulman, A., 1982," The maximal covering location problem with facility placement on the entire plane," *Journal of Regional Science*, Vol. 22, No. 3, pp. 361-365.
56. Mehrez, A., 1983," A note on the linear integer formulation of the maximal covering location problem with facility placement on the entire plane," *Journal of Regional Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 553-555.
57. Meng, Q., Yang, H., Wong, S.-C., 2000," A combined land-use and transportation model for work trip," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.27, pp.93-103.
58. Migereko, D., 1983, *A location analysis of the coffee cooperative system of Uganda*, Master's Thesis, Department of Geography, University of California, Santa Barbara, California.
59. Min, H., 1988," The dynamic expansion and relocation of capacitated public facilities: A multi-objective approach," *Computers and Operations Research*, Vol. 15, No. 3, pp. 243-252.
60. Moore, G. C. and ReVelle, C., 1982," The hierarchical service location problem," *Management Science*, Vol. 28, No. 7, pp. 775-780.
61. Owen, S. H. and Daskin, M. S., 1998, "Strategic facility location: a review," *European Journal of Operational Research*, No, 111, pp. 423-447.
62. Pirkul, H. and Schilling D. A., 1991," The maximal covering location problem with capacitated on total workload," *Management Science*, Vol. 37, No. 2, pp. 233-248.

63. Poorzahedy, H. and Turnquist, M. A., 1982, "Approximate algorithms for the discrete network design problem," *Transportation Research B*, Vol. 16B, No. 1, pp. 45-55.
64. Ridgley, M. A. and Giambelluca, T. W., 1992, "Linking water-balance simulation and multiobjective programming: land use plan design in Hawaii," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 19, pp. 317-336.
65. Ruefli, T. W. and Storbeck, J. E., 1982," Behaviorally linked location hiererchies," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 9, pp. 257-268.
66. Sakawa, M., Nishizaki, I., Hitaka, M., 1999," Interactive fuzzy programming for multi-level 0-1 programming problems through genetic algorithms," *European Journal of Operational Research*, 114, pp.580-588.
67. Schilling, D. A., Jayaraman, V. and Barkhi, R., 1993," A review of covering problems in facility location," *Location Science*, Vol. 1, No.1, pp. 25-55.
68. Schilling, D., 1976, *Multi-objective and temporal considerations in public facility location*, Ph.D. Dissertation, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.
69. Sheffi, Y., 1985, *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey.
70. Shih, H.-S., Lai, Y.-J., Lee, E. S., 1996," Fuzzy approach for multi-level programming problems," *Computers, and Operations Research*, Vol.23, No.1, pp.73-91.

71. Soismaa, M., 1999, "A note on efficient solutions for the linear bilevel programming problem," *European Journal of Operational Research*, 112, pp.427-431.
72. Suh, S., Kim, T. J., 1992, "Solving nonlinear bilevel programming models of the equilibrium network design problem: a comparative review," *Annals of Operations Research*, 34, pp.203-218.
73. Tomlin, J.A., 1971, "A mathematical programming model for the combined distribution-assignment of traffic," *Transportation Science*, 5, pp.120-140.
74. Wen, U.-P., Hsu, S.-T., 1991, "Linear bi-level programming problems-a review," *Journal of Operational Research Society*, Vol.42, No.2, pp.125-131.
75. Xiong, Y. and Schneider, J. B., 1995, "Transportation network design using a cumulative genetic algorithm and neural network," *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1364*, pp. 37-44.
76. Yang, H., Bell, M. G. H., 1998, "Models and algorithms for road network design: a review and some new development," *Transport Reviews*, Vol.18, No.3, pp.257-278.