

用於都市地區活動分布之灰色 TOD 規劃模式

A GREY TOD PLANNING MODEL FOR THE ACTIVITIES DISTRIBUTION IN URBAN AREA

林楨家 Jen-Jia Lin¹

李家儂 Chia-Nung Li²

(92 年 9 月 9 日收稿，93 年 2 月 20 日第一次修改，93 年 5 月 24 日
第二次修改，94 年 1 月 12 日定稿)

摘 要

本研究之目的在建構「大眾運輸導向發展 (transit-oriented development, TOD)」的土地使用規劃模式，用於都市地區居住、商業與休閒等三種活動之配置規劃。模式建立為「灰色多目標規劃 (grey multiobjective programming)」，追求目標包括：提高都市環境品質、提高活動間互動的便捷性、提升大眾運具使用、提高商業活動的可及性；限制條件考量：發展強度與容受力限制、與發展現況差距限制、經濟規模限制、活動類型組合與發展特色限制以及捷運系統容量限制；輸入資料與輸出結果可為灰數，以滿足實務作業所面臨的資訊不明確與規劃彈性的需求。本研究進一步設計 Grey TOPSIS 方法以求解所建構模式，並可供其他灰色多目標規劃模式應用。最後並將模式實際應用於臺北市之 TOD 發展規劃，除具體提出規劃建議外，並發現當資訊愈不明確使輸入參數之灰色程度愈大，將導致輸出結果的灰色程度愈大，有利於保留規劃彈性，以

-
1. 國立臺北大學都市計劃研究所副教授 (聯絡地址：104 臺北市建國北路二段 69 號臺北大學都市計劃研究所；電話：02-25009715；E-mail：jenjia@mail.ntpu.edu.tw)。
 2. 國立臺北大學都市計劃研究所碩士。

因應都市發展的不可掌握性與風險。

關鍵詞：大眾運輸導向發展；土地使用計畫；灰色多目標規劃

ABSTRACT

This study aims to develop a land use design model for transit-oriented development (TOD) planning. The model is developed to distribute the residence, employment, and recreation activities in an urban area. The input and output of the developed model can be grey numbers, which can deal with the uncertainty and flexibility of real world effectively. The model was developed based on the following four objectives: maximizing the environment qualities of the city, maximizing the interaction convenience among activities, maximizing the subway's ridership, and maximizing the accessibility of commercial and business areas as well as the following constraints: carrying capacity, differences to the present conditions, economical scale, characteristics of development, and capacity of subway system. A Grey TOPSIS approach is designed to solve the developed mode, and it can be applied by the other grey multiobjective programming. Finally, the model is applied on the TOD planning for Taipei City. Besides the development recommendation for case study, it is also found that the less indefinite information is in grey parameters of model, the higher grey degree outcomes have. It is useful to remain flexibility of planning for responding to the uncertainty and risk.

Key Words: Transit-oriented development; Land use plan; Grey multiobjective programming

一、前言

都市的成長與發展，有相當程度受到大型建設及運輸網路的引導與影響，過去小汽車導向的都市發展策略造成都市蔓延及郊區化發展的現象，不但增加工作及居住地點間的距離，同時也降低能源與土地資源使用之效率。而大眾運輸系統相較於個人運具而言，具有較高的資源使用效率，在環保意識與永續發展理念下，各都市均改以大眾運輸系統為都市發展主軸進行檢討與規劃。臺灣地區之捷運系統建設已初具成果，並持續建置當中，規劃者在面對捷運系統的功能特性與衝擊影響時，必須進行充分的規劃準備，以發揮捷運建設所帶來的正面效益。

「大眾運輸導向發展 (transit-oriented development，以下簡稱 TOD)」係以大眾運輸可及性高低作為都市發展規劃之基準，可提升大眾運輸之使用效能，強化土地使用機能。近年學者積極探討 TOD 之規劃理念與應用經驗，例如 Bernick 和 Cervero^[1]、Freilich^[2]、張學孔等人^[3]之研究，這些文獻顯示，TOD 規劃內容不脫影響旅運行為的 3Ds 元素，亦即：提高大眾運輸場站附近或沿線廊道之發展「強度 (density)」，以增加大眾運輸系統使用量；

適當地「混合 (diversity)」土地使用，提高活動便利性而增加使用大眾運輸的意願；有利步行、轉乘以及大眾運輸系統營運之都市環境「設計 (design)」。

上述三種規劃元素分別對應到都市發展之管制、規劃與設計內容。另一方面，都市 TOD 規劃可區分為兩個層面：一是宏觀且全面性地規劃都市整體發展結構的區域規劃問題，重點在活動種類與量體的分佈規劃；二是針對大眾運輸車站附近進行較詳細明確規劃的地區規劃問題，重點在更細節的土地使用內容、強度以及環境設計。過去的文獻多著眼於地區規劃層面而忽略區域層面的討論，但是，都市活動的分佈結構往往影響地區發展的先天機會與限制，因此成為 TOD 規劃繼續關注的議題^[4]。

「土地使用規劃問題 (land use design problem, LDP)」模式可用來輔助規劃者進行 TOD 規劃，它是一種規範性的分析工具，被設計用來協助規劃者系統化且有效地決定最佳的土地使用種類、規模、或者區位之規劃方案。過去已有許多研究針對不同問題設計了規劃模式，絕大部分屬於數學規劃模式，例如 Brotchie 等人^[5]、Ridgley 和 Giambelluca^[6]、Lin 和 Feng^[7]之研究。過去亦產生一些針對 TOD 規劃而設計的 LDP 模式，馮正民與張昭芸^[8]設計使捷運系統載客量最大之各車站腹地範圍最佳活動量規劃模式，屬於捷運廊道式的區域規劃問題；Kaneko 和 Fukuda^[4]設計滿足運輸系統容量限制下追求最大旅次發生數之活動配置規劃模式，屬於整體都市的區域規劃問題；林楨家與高誌謙^[9]設計捷運車站周邊地區容積規劃模式，屬於地區規劃問題。前二個區域規劃研究均設計為單目標規劃問題，純粹在追求捷運營運效率，忽略其他都市發展目標的考量與權衡，例如發展強度提高對生活環境品質與土地發展公平性的負面影響；而第三個研究雖設計為多目標規劃，但僅適合站區規劃，在區域規劃問題上尚待進行發展。

另一方面，為了 TOD 而進行都市活動分佈規劃基本上屬於綱要性或綜合性的規劃階段，此階段常面臨規劃資訊不明確的問題，致使規劃作業所需要的輸入資料只知其大概範圍，而無法決定明確的數值，例如大眾運具分配比率大致在 30% ~ 50% 之間；同時，此階段的規劃結果通常期待能保留一些彈性，以因應未來難以掌握的發展情境與風險，例如居住人口數的下界與上界。傳統以明確數值為基礎的分析方法已不能滿足上述規劃作業需求，而近年常用以處理不明確資訊的隨機 (stochastic) 或模糊 (fuzzy) 規劃方法，則因尚須分別確認資訊或參數發生或目標達成之機率 (probability) 或可能性 (possibility) 分配，實務作業上常無法配合且易受質疑。Deng^[10]所提出的灰數 (grey number) 觀念正滿足前述具上下界範圍的輸入與輸出需求，進一步以灰數設計數學規劃模式肇始於 Huang 等人^[11]的灰色線性規劃，繼而灰色模糊規劃^[12]、灰色整數規劃^[13]、灰色非線性規劃^[14]、灰色多目標規劃^[15]等相繼出現，它們均設計用於垃圾處理或污水處理之環境工程規劃問題，在處理只知範圍的參數（例如垃圾單位產量的大致範圍）以及具上下界的規劃結果要求（例如垃圾處理容量的上下界）上有良好的表現，其設計觀念很值得都市規劃分析模式之引用。

因此，本研究之目的在建構以大眾捷運系統為主軸的土地使用規劃模式，用於都市地

區居住、商業與休閒等三種活動之分布規劃。模式建立為「灰色多目標規劃 (grey multiobjective programming)」，輸入資料與輸出結果可為灰數，可滿足實務作業所面臨的資訊不明確與規劃彈性的需求。研究中進一步設計 Grey TOPSIS 方法用以求解所建構模式，並可供其他灰色多目標規劃模式應用求解。最後並將模式實際應用於臺北市之 TOD 發展規劃，除具體提出規劃建議外，並整理模式特性供應用者參考。文章內容將分為六個部分：在本段說明研究目的、內容與文獻回顧之後，將在第二段說明模式構想，接著在第三段進行模式列式，第四段介紹求解方法設計，第五段將說明實例研究與敏感度分析，最後則提出結論與建議。

二、模式構想

都市地區活動分布之 TOD 規劃問題可定義如圖 1。當市政府規劃部門決定以捷運系統為主軸進行區域層級的 TOD 規劃時，在給定的規劃範圍界限、規劃範圍內的適當分區、不可配置活動之限制發展分區、捷運沿線設站分區以及規劃活動種類等條件下，希望能決定各種活動在各分區的最佳分布規模；根據此綱要性的分布結構，進行後續更細節的都市規劃作業。因此，決策變數須能表達分區、活動種類與活動規模等資訊。

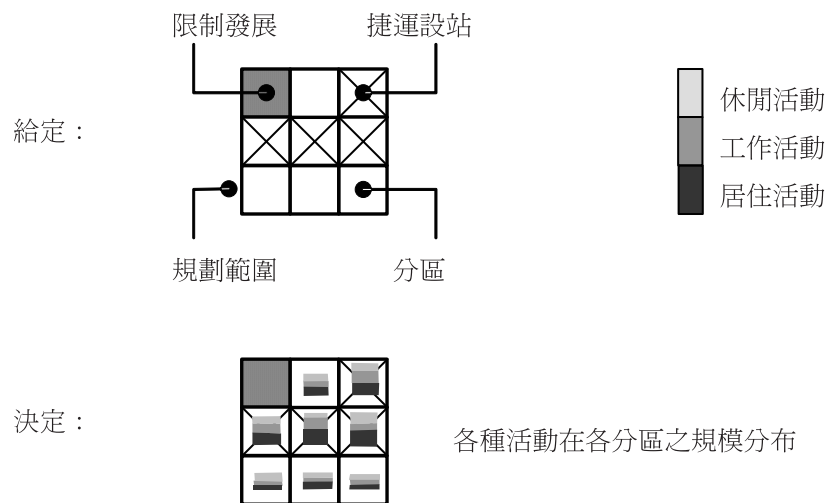


圖 1 問題定義示意

為決定適合臺灣的 TOD 規劃目標，本研究自各文獻之回顧中整理出 7 類計 47 個目標，設計「分析階層程序 (analytic hierarchy process, AHP)」問卷，於民國 92 年 3 月間進行專家學者調查；調查對象身分為都市計畫或交通運輸領域之學者、公務員以及規劃師，

成功回收 18 份問卷均通過一致性檢定。將調查結果整理計算各目標間的相對權重，將權重值最高的前 10 個目標綜整為 4 個目標，前述調查、分析與綜整過程繁複，為控制篇幅，請逕參閱李家儂的論文^[16]。4 個目標構想說明如下：

1. 提高都市環境品質

為目標權重最高者，由 TOD 的觀念及發展經驗，TOD 城市旨在吸引自然或人文的限制發展區之民眾往都市內部來集中發展，而提供一個良好的環境品質及生活條件將是吸引回流的重要因素。由於環境品質並不容易具體衡量，它常牽涉到民眾認知的問題，故須以合適的其他指標取代。環境品質與環境污染防制成本具有反向的關係，通常污染防制成本愈高，代表環境品質愈差，本研究在列式時改以「減少環境污染防制成本」進行衡量，惟未來可代之以更適合的衡量方式。

2. 提高活動間互動的便捷性

此為 TOD 規劃中的「土地混合使用」觀念，當地區內土地使用的多樣性與雜異度愈高，不同活動間互動的便捷性就愈高，且單一旅次可完成多種旅次目的，則使用大眾運具出入該地區的機會愈大；依據國外之實證研究，混合使用比單一使用發展比較，能夠減少約 20% ~ 25% 的私人汽車旅次。

3. 提升大眾運具使用

提升大眾運具使用可以減低小汽車的使用，而若要使大眾運具成為主要的工具，必須要有足夠的活動量分布在車站附近，多數實證研究指出^[17]，地區發展密度或活動量愈高有助大眾運具的利用。

4. 提高商業活動的可及性

由於各個地區發展特色不同，有些分區會產生全為工作活動或居住活動的情形，此與 TOD 的發展概念違背；因此，配置工作與休閒活動於居住活動附近，使居住活動與工作、休閒活動間的旅運時間最小，將可克服這樣的問題。

參考過去 LDP 模式經驗、實務需要以及 TOD 關心事項，考量限制條件如下：

1. 發展強度與容受力的限制（總量與分區上限）：模式所配置與分布之活動量，須在整個規劃範圍以及個別分區之容受限制內。
2. 與發展現況差距的限制（分區下限）：在面對已發展地區之規劃實務上，必須注意規劃結果和現況發展差距太大致執行困難的問題，故規劃結果與發展現況的差距要有一定比率的限制。
3. 經濟規模限制：若分配的活動量未達到一定規模，一方面該活動實際不會存在，另一方面即使存在可能也面臨績效不彰的問題，因此必須設定各類活動的經濟規模下限。
4. 活動類型組合與發展特色的限制：分區中所分配的各種活動類型間存在一定的比率關係，除了滿足需求之外，也反映當地發展特色，故在活動間設計比率關係限制。
5. 捷運系統容量限制：為避免活動分布所形成的旅運需求超過捷運系統容量，產生無理的規劃結果，必須限制捷運路線旅次數在容量範圍內。

6. 0-1 與非負限制式：為滿足分區、種類與規模之輸出結果要求，決策變數將分為二種：
 一是活動的配置種類，即某分區「配置」或「不配置」某種活動，屬於 $\{0, 1\}$ 值域限制；
 二是土地使用的活動量，屬於非負值域限制。

三、模式列式

本段將先定義所使用符號，繼而根據模式構想進行基本列式，最後將基本列式之部分參數與變數轉成灰數，設計為灰色規劃模式。

3.1 符號定義

模式列式所使用符號定義說明如下：(先皆以明確的白數方式定義)

i, i', l, k ：皆是指交通分區， i 是指規劃範圍內每一個交通分區， i' 是指規劃範圍內有捷運車站的每一個交通分區， l 是指旅次起點的交通分區， k 是指旅次迄點的交通分區；

j ： $j = 1, 2, 3$ ，分別指居住、工作與休閒活動；

P_j^r ： j 種活動每一單位每年會產生 r 種污染的數量， $r = 1, 2, 3$ ，依序分別指空氣 (CO_2 ：二氧化碳)、水 (污水) 與垃圾污染 (噸/人)；

C^r ： r 種污染所需要付出的單位防制成本 (元/污染單位)；

$K_{i'j}$ ： i' 分區中 j 種活動的捷運搭乘率 (%)；

O_{ij} ： i 分區中 j 種活動的旅次產生率 (旅次/人/日)；

D_{ij} ： i 分區中 j 種活動的旅次吸引率 (旅次/人/日)；

T_{lk} ： 規劃範圍內從 l 分區到 k 分區的工作與休閒活動旅次數 (旅次)；

t_{lk} ： 規劃範圍內從 l 分區到 k 分區的工作與休閒活動單一旅次單方向旅運時間 (小時)；

R_j ： 每一單位 j 種活動量所需要的樓地板面積 (公頃/人)；

e_i^u ： 每一個 i 分區中的居住、工作與休閒的樓地板面積發展總量上限 (公頃)；

f_j ： 每一單位 j 種活動每年所需的供水量 (1000m^3 /人)；

$\overline{F}_i$ ： i 分區中的每年總供水量上限 (1000m^3)；

$\overline{P}_i$ ： i 分區中的公園與國中、小土地面積可以服務的居住人口數上限 (人)；

$\overline{W}_i$ ： i 分區中可以提供的就業機會上限 (人)；

q_c ： 單一面容受力評估標準，見 (6) 式說明；

N_C ： 規劃範圍內居住人口的容量上限 (人)；

N_p ： 規劃範圍內現況的居住人口數 (人)；

n_p ： 規劃範圍內現況的居住人口數不可變動之比率；

- b_p : 每一單位居住人口所需要的工作人口比率；
 s_p : 每一單位居住人口所需要的休閒人口比率；
 A_{ij} : i 分區中 j 種活動，現況活動量可變動之比率；
 N_{ij} : i 分區中 j 種活動的現況活動量 (人)；
 H_{ij} : 每一個 i 分區 j 種活動的最小經濟規模 (人)；
 m : 任意足夠之大數；
 e_d : 配置 d 種類車站之分區在居住對工作與休閒活動量間的比率關係；
 u_d : 配置 d 種類車站之分區在居住對工作與休閒活動量間的大小關係， $\in \{1, -1\}$ ，詳見 (15) 式說明；
 N_d : 配置 d 種類車站之分區集合，詳見 (15) 式說明；
 V_a : 上午尖峰時間路段 a 之總旅次數 (旅次/小時)；
 K_l : l 分區居住活動搭乘捷運之比率；
 C_a : 大眾捷運系統路段 a 之容量 (旅客/小時)；
 P_a : 旅次起迄點間最短路徑會經過路段 a 之起迄點組合之集合，詳見 (16) 式說明；
 g : 大眾捷運系統上午尖峰小時使用量占全日使用量之比率；
 Y_{ij} : 決策變數，決定分區 i 是 ($=1$) 否 ($=0$) 配置 j 種類的活動， $\in \{0, 1\}$ ；
 X_{ij} : 決策變數，決定在分區 i 中規劃 j 種類活動的量 (人)。

3.2 基本列式

衡酌模式構想與實務應用兩方需要，本研究基於以下假設進行列式：(1) 分區間無交集區域，且旅行者會使用所在分區範圍內的捷運車站；(2) 二個分區若均有捷運車站則以捷運估算二分區間的旅行時間，若非如此則以小汽車估算旅行時間；(3) 限制發展區是給定的條件，活動量將不會分配在這些地區；(4) 活動量以人口為單位，如居住活動量為居住人口數、工作活動量為就業人口數、休閒活動量為休閒人口數 (如消費、服務人數)，休閒活動量不包括在自然生態環境中的休閒行為；(5) 捷運系統上午尖峰的路線容量等於下午尖峰，而非尖峰時間每單位時段旅客數不會超過尖峰時間；(6) 由於目前灰色規劃尚無有效的方法求解非線性問題，因此以旅次守恆的方法檢討捷運系統的路線容量限制，即只考量旅次分布的限制，尚不處理複雜且非線性的路網指派。

1. 目標式

目標一為提高都市環境品質，以吸引民眾往都市可開發地區發展，進而保護自然與人文之限制發展地區。由於環境品質衡量不易，本研究改以減少環境污染成本為衡量方式，如 (1) 式所示，最小化各個分區 (i) 各種活動 (j) 各種污染物 (r) 的 $C^r \times P_j^r \times X_{ij}$ 的加總，其目標意義為「各分區、各種活動產生的各項污染所需付出的防制成本最小」，以達到提高都市環境品質的目的。

$$\text{Min } Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_r C^r \times P_j^r \times X_{ij} \quad (1)$$

目標二為提高活動間互動的便捷性，若分區中活動種類愈多，且活動量佔一定比率以上，則活動間互動的便捷性愈高。其中，活動量比率將在限制條件中限制其經濟規模下限，如 (13) 與 (14) 式，故目標式只考量活動種類數，列如 (2) 式，其目標意義為「配置活動的種類數最大化，即愈多愈好」：

$$\text{Max } Z_2 = \sum_i \sum_j Y_{ij} \quad (2)$$

目標三為提升大眾運具使用，可以根據活動量、旅次發生率以及捷運使用率估算捷運乘客量。同時，為了提升捷運系統全時段與雙向的營運效率，可提高有捷運車站分區中的居住、工作與休閒活動量，因為居住活動量可提升上午尖峰時間捷運乘客數、工作活動量可提升下午尖峰的乘客數、而休閒活動量可提升非尖峰時間的雙向乘客量。因此列如 (3) 式，將各分區的居住活動量會產生的捷運旅次產生數 $K_{i'1}O_{i'1}X_{i'1}$ 與工作和休閒活動量會吸引的捷運旅次吸引數 $K_{i'2}D_{i'2}X_{i'2} + K_{i'3}D_{i'3}X_{i'3}$ 之加總最大化，其意義為「藉由提高各種土地使用的活動量，以提升大眾捷運系統全時段、雙向的搭乘量」。

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{i'} K_{i'1}O_{i'1}X_{i'1} + \sum_{i'} \sum_{j=2}^3 K_{i'j}D_{i'j}X_{i'j} \quad (3)$$

目標四為提高商業活動可及性，配置的居住活動若和工作活動與休閒活動間旅行時間愈短，則商業活動之可及性愈高，列如 (4) 式，其意義為「各分區間行使商業行為（工作與休閒活動）之總旅運時間最小化」。

$$\text{Min } Z_4 = \sum_l \sum_k T_{lk} t_{lk} \quad (4)$$

其中，旅次數為各運具旅次數總和。

2. 限制式

(1) 發展強度與容受力的限制

為避免土地過度開發、生活品質遭受破壞及市場供需失衡，因此各類活動量不得超過一定的發展強度，限制如 (5) 式所示，其意義為「各個分區中居住、工作與休閒衍生的樓地板需求不可以超過各分區的發展總量」。

$$\sum_j R_j X_{ij} \leq e_i^u, \quad \forall i \quad (5)$$

另外，考量三種容受力限制：環境容受力為水資源供給限制、設施容受力為公共設施服務限制、經濟容受力是工作機會的限制；將三種容受力綜合為 (6) 式，其意義為「三個

面向的容受力綜合評估需達到一定的標準」，並且「每一個面向的容受力都需要被滿足的最低限度，其中又以環境優於設施與經濟」。

$$\frac{\sum_j f_j X_{ij}}{F_i} \leq \frac{X_{i1}}{P_i} \leq \frac{X_{i2}}{W_i} \leq q_c, \quad \forall i \quad (6)$$

其中 q_c 為單一種容受力評估標準，例如該標準為 1 時，即表示規劃的各項活動量可以剛好被各項容受力承載，而該標準數值若設定大於 1，表示規劃活動量超過容受力可承載量。

(2) 與發展現況差距的限制

為了避免規劃結果和發展現況差距太大而無法執行，首先限制規劃範圍的總量，假設規劃範圍現住人口數未超過容量上限，列如 (7) 式，其意義為「規劃的居住活動量要大於現況居住人口的某個比率，但不得超過容量的上限」；同時必須注意居住人口數和其他活動人口數間的關係，列如 (8) 式與 (9) 式，意義為「居住人口的總量與工作和休閒人口總量有一個共存的比率關係」。

$$n_p N_p \leq \sum_i X_{i1} \leq N_C \quad (7)$$

$$\sum_i X_{i2} \geq b_p \sum_i X_{i1} \quad (8)$$

$$\sum_i X_{i3} \geq s_p \sum_i X_{i1} \quad (9)$$

另外，也必須限制各個分區與現況活動量間的關係，列如(10)式，意義為「每一個分區，模式規劃之活動量與現況的差距，要小於一定的比率」。

$$|X_{ij} - N_{ij}| \leq A_{ij} N_{ij}, \quad \forall i, j \quad (10)$$

(10) 式可以轉變成 (11) 式線性關係，然而在發展強度與各區容受力限制部分，已有各分區可發展的上限，在簡約的考量下，將不把各分區現況可變動的上限納入模式中，僅以 (12) 式取代 (10) 式。

$$(1 - A_{ij}) N_{ij} \leq X_{ij} \leq (1 + A_{ij}) N_{ij}, \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$(1 - A_{ij}) N_{ij} \leq X_{ij}, \quad \forall i, j \quad (12)$$

(3) 各分區經濟規模限制

基於經濟規模的要求，若未達到一定規模的活動種類，將不適合配置，因此列如 (13) 式與 (14) 式，意義為「若各分區各種活動量未達到經濟規模則不配置」。

$$H_{ij} - X_{ij} \leq m(1 - Y_{ij}), \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$X_{ij} \leq mY_{ij}, \quad \forall i, j \quad (14)$$

(4) 活動類型組合與發展特色的限制

都市規劃須因應地區發展特色及賦予功能決定規劃內容，因此活動量的分布在各地區不能是均質的；當規劃者要為每一個捷運車站周邊地區賦予發展特色時，可設計活動間比率關係的限制如 (15) 式，其意義為「在有捷運車站的分區中，車站周邊土地發展型態不同，其活動間有不同的比率關係」。

$$u_d(X_{i'2} + X_{i'3}) \geq u_d e_d \times X_{i'1}, \quad \forall i' \in N_d \quad (15)$$

其中， $N_d = \{i' | i' \text{ 分區中設有 } d \text{ 種類車站}\}$ ；當 $u_d = +1$ 時，代表工作與休閒活動量要大於或等於居住活動量的某個比率；反之，當 $u_d = -1$ 時，代表工作與休閒活動量要小於居住活動量的某個比率值。例如本研究實例分析中將車站區分為城市中心型、交通中心型、辦公商業型、住商混合型以及住宅型五類，其中住宅型車站所在分區應以居住活動為主，可設 $u_d = -1$ 及 $e_d = 1$ ，代表工作與休閒活動量應不大於居住活動量。

(5) 捷運系統路線容量限制

由於捷運系統路線容量擴充不易，故須加以限制如 (16) 式與 (17) 式，其意義為「設定上午尖峰時間的旅客數須小於每一路段的容量」。

$$V_a = \sum_{(l,k) \in P_a} g_{lk} T_{lk} \quad (16)$$

$$V_a \leq C_a \quad (17)$$

其中， P_a 為起迄點的集合，當起迄點間最短路徑會經過路段 a 時，該起迄點就會被納入此集合，數學定義為 $P_a = \{(l, k) | \text{由分區 } l \text{ 到 } k \text{ 搭乘大眾捷運系統會經過路段 } a\}$ ，於 (16) 式中的作用在統計會經過路段 a 的流量。

(6) 旅次分布守恆限制式

由於各分區規劃的活動量為決策變數，致區間旅次分布數會隨之改變，因此，為了滿足「旅次分布守恆的關係」，其限制式如 (18) 式與 (19) 式所示。

$$\sum_l T_{lk} = D_{k2} X_{k2} + D_{k3} X_{k3}, \quad \forall k \quad (18)$$

$$\sum_k T_{lk} = O_{l1} X_{l1}, \quad \forall l \quad (19)$$

其中，(18) 式為吸引端之守恆，(19) 式為產生端之守恆。

(7) 決策變數值域宣告

本模式決策變數有二，值域宣告如 (20) 式及 (21) 式。

$$X_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (20)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \quad (21)$$

3.3 灰色規劃模式

前述列式均將參數與決策變數視為確定且清楚的數值（白數），然而在實際的規劃作業常面臨輸入參數的訊息是不確定且沒把握的估計範圍，且規劃結果常被要求保留彈性範圍，此即為 Deng^[10]之灰數觀念。為使模式更貼近於實務環境與需求，將部分不易掌握的參數以及決策變數 X (Y 為 0-1 變數，其灰數意義尚有爭議) 定義為灰數，其表示方式是由一個開放的上下界區間表示，即：

$$\otimes(a) = [\underline{\otimes}(a), \overline{\otimes}(a)] = \{t | \underline{\otimes}(a) \leq t \leq \overline{\otimes}(a)\} \quad (22)$$

其中， $\underline{\otimes}(a)$ 代表參數或變數的下界， $\overline{\otimes}(a)$ 代表參數或變數的上界， $\otimes(a)$ 則定義為「灰參數」或「灰變數」。

經過檢討，不易掌握為明確數值的灰參數如下：(1) 活動之污染量 $\otimes(P_j^r)$ 只能大約估計，而且同樣活動在不同時空背景下會產生相異的污染；(2) 污染防制成本 $\otimes(C^r)$ 雖可明確估計，但因使用技術與要求標準不同，會產生相異的成本；(3) 旅次產生率 $\otimes(O_{ij})$ 與吸引率 $\otimes(D_{ij})$ 在不同環境背景下，會有相異的水準，例如相同樓地板面積的百貨公司，因地點或景氣差異會吸引不同的顧客數；(4) 活動需要的樓地板面積 $\otimes(R_j)$ 與供水量 $\otimes(f_j)$ ，會因活動性質的差異而不同，例如高所得家庭的居住活動，通常需要較多的樓地板和供水；(5) 單位居住人口所需要工作人口 $\otimes(b_p)$ 與休閒人口 $\otimes(s_p)$ ，會因為人口背景差異而不同，例如高薪者所需要的工作人口通常較低薪者為低，而休閒人口則較低薪者為高；(6) 大眾捷運系統容量 $\otimes(C_d)$ 雖可明確估計，但因不同時間(尖峰、非尖峰)班次不同、不同背景乘客對飽和車廂容量的認知不同以及車輛妥善率和調度管理差異等因素，致使捷運容量會在某個範圍內變動，而非固定不變的值。

將灰數與前段基本列式結合，灰色規劃模式如下：

[P1]

$$\text{Min } \otimes(Z_1) = \sum_i \sum_j \sum_r \otimes(C^r) \otimes(P_j^r) \otimes(X_{ij})$$

$$\text{Max } \otimes(Z_2) = \sum_i \sum_j Y_{ij}$$

$$\text{Max } \otimes(Z_3) = \sum_{i'} K_{i'1} \otimes(O_{i'1}) \otimes(X_{i'1}) + \sum_{i'} \sum_{j=2}^3 K_{i'j} \otimes(D_{i'j}) \otimes(X_{i'j})$$

$$\text{Min } \otimes(Z_d) = \sum_l \sum_k \otimes \eta_{lk} t_{lk}$$

s.t.

$$\sum_j \otimes(R_j) \otimes X_{ij} \leq e_i^u, \quad \forall i$$

$$\frac{\sum_j \otimes(f_j) \otimes(X_{ij})}{F_i} \leq \frac{\otimes(X_{i1})}{P_i} \leq \frac{\otimes(X_{i2})}{W_i} \leq q_c, \quad \forall i$$

$$n_p N_p \leq \sum_i \otimes(X_{i1}) \leq N_C$$

$$\sum_i \otimes(X_{i2}) \geq \otimes(b_p) \sum_i \otimes(X_{i1})$$

$$\sum_i \otimes(X_{i3}) \geq \otimes(s_p) \sum_i \otimes(X_{i1})$$

$$(1 - A_{ij}) N_{ij} \leq \otimes(X_{ij}), \quad \forall i, j$$

$$H_{ij} - \otimes(X_{ij}) \leq m(1 - Y_{ij}), \quad \forall i, j$$

$$\otimes(X_{ij}) \leq m Y_{ij}, \quad \forall i, j$$

$$u_d(\otimes(X_{i'2}) + \otimes(X_{i'3})) \geq u_d e_d \times \otimes(X_{i'1}), \quad \forall i' \in N_d$$

$$\otimes(V_d) = \sum_{l,k \in P_a} g K_{l1} \otimes \eta_{lk}$$

$$\otimes(V_d) \leq \otimes \phi_a$$

$$\sum_l \otimes(T_{lk}) = \otimes D_{k2} (\otimes X_{k2} + \otimes D_{k3} \otimes X_{k3}), \quad \forall k$$

$$\sum_k \otimes(T_{lk}) = \otimes Q_{l1} (\otimes) X_{l1}, \quad \forall l$$

$$\otimes(X_{ij}) \geq 0, \quad \forall i, j$$

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

$$\otimes(T_{lk}) \geq 0, \quad \forall l, k$$

$$\otimes(V_d) \geq 0, \quad \forall d$$

[P1] 問題中的決策變數除 0-1 變數外均成為灰數，例如 $\otimes(X_{ij})$ 可決定活動 j 配置在分區 i 的下限量 $\otimes(X_{ij})$ 與上限量 $\bar{\otimes}(X_{ij})$ ，規劃者可在此範圍內決定適當的配置量，為土地使用規劃作業保留了決策彈性。

四、Grey TOPSIS

TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) 原是由 Hwang 和 Yoon^[18]所建立的多準則評估方法，目的在尋找距「正理想解 (positive ideal solution, PIS)」最近，且距「負理想解 (negative ideal solution, NIS)」最遠的方案。而 Lai 等人^[19]將其精神應用在多目標規劃問題上，求解過程被分為二個階段：首先將數個目標式正規化 (normalization)，分別建立距 PIS 與 NIS 間的「距離」關係式，繼而利用模糊規劃 (fuzzy programming) 法，求解距 PIS 最近與距 NIS 最遠的雙目標規劃問題。依照 Lai 等人^[19]的分類，該方法是屬於事先不加入決策者偏好資訊的規劃方法，擅長處理較多目標式的問題。

由於灰色規劃模式中含有資訊不明的灰色參數，目標式、限制式與決策變數均具有上界與下界的概念，直接求解「非劣解集」，無法形成灰數，失去灰色規劃的意義；而 TOPSIS 方法求出的結果為一個妥協解，可找出決策變數的上、下界，是一個可用的方法。因此本研究以 TOPSIS 解題程序為骨幹，加入灰色線性規劃求解方法，修改 TOPSIS 成可解灰色多目標規劃問題的 Grey TOPSIS。以下先介紹灰色線性規劃求解方法，繼而說明 Grey TOPSIS 的求解過程；為便於順利了解，建議讀者先參閱 Lai 等人^[19]或曾國雄與林楨家^[20]對 TOPSIS 之說明。

4.1 灰色線性規劃

Deng^[10]將所有系統區分為三類，即白色、灰色與黑色三部分；其中，白色部分代表完全確定和清楚的訊息，黑色部分代表完全未知之特性，而灰色部分得到的訊息介於二者之間。任何一個含有灰數的系統即可定義為「灰色系統」，而灰色決策即為在灰色系統中所進行之決策分析。

灰色規劃中最基礎的模式為單目標的「灰色線性規劃」，此也為其他灰色規劃問題求解的基礎。根據 Huang 和 Moore^[21]的研究與證明指出，灰色線性規劃若具有以下性質：(1) 目標函數中有一個「最大化 (max)」目標 $\otimes Z$ ；(2) n 個決策變數 $\otimes (x_i)$ ；(3) 決策變數在目標式中之灰色係數，前 k 個 $\otimes c_i$ 是正數，而後 $n-k$ 個 $\otimes c_i$ 是負數；(4) m 個 $\otimes g_j(x)$ 限制式；(5) 決策變數在限制式中之灰色係數為 a_{ji} ，表示變數 i 在限制式 j 的係數， $j \in [1, m]$ ， $i \in [1, n]$ ；(6) m 個 $\otimes b_j$ 右手值。如下所示：

[P2]

$$\text{Max } \otimes Z = \otimes C \otimes X$$

$$\text{s.t. } \otimes A \otimes X \leq \otimes B$$

$$\otimes X \geq 0$$

where, $\otimes C = [\otimes c_1, \otimes c_2, \dots, \otimes c_n]$

$$\otimes X = [\otimes x_1, \otimes x_2, \dots, \otimes x_n]^T$$

$$\otimes A = \begin{bmatrix} \otimes a_{11}, \otimes a_{12}, \dots, \otimes a_{1n} \\ \otimes a_{21}, \otimes a_{22}, \dots, \otimes a_{2n} \\ \vdots \\ \otimes a_{m1}, \otimes a_{m2}, \dots, \otimes a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\otimes B = [\otimes b_1, \otimes b_2, \dots, \otimes b_m]^T$$

則 [P2] 可分解成以下兩個子模式求解：

[P2-1]

$$\text{Max } \overline{\otimes} Z = \overline{\otimes} C_q \overline{\otimes} X_q + \overline{\otimes} C_{q'} \underline{\otimes} X_{q'}$$

$$\text{s.t. } \underline{\otimes} A_q \overline{\otimes} X_q + \underline{\otimes} A_{q'} \underline{\otimes} X_{q'} \leq \underline{\otimes} B$$

$$\overline{\otimes} X_q \geq 0$$

$$\underline{\otimes} X_{q'} \geq 0$$

where, $\overline{\otimes} C_q = [\overline{\otimes} c_1, \overline{\otimes} c_2, \dots, \overline{\otimes} c_k]$

$$\overline{\otimes} C_{q'} = [\overline{\otimes} c_{k+1}, \overline{\otimes} c_{k+2}, \dots, \overline{\otimes} c_n]$$

$$\underline{\otimes} A_q = \begin{bmatrix} \underline{\otimes} a_{11}, \underline{\otimes} a_{12}, \dots, \underline{\otimes} a_{1k} \\ \underline{\otimes} a_{21}, \underline{\otimes} a_{22}, \dots, \underline{\otimes} a_{2k} \\ \vdots \\ \underline{\otimes} a_{m1}, \underline{\otimes} a_{m2}, \dots, \underline{\otimes} a_{mk} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\otimes} A_{q'} = \begin{bmatrix} \underline{\otimes} a_{1,k+1}, \underline{\otimes} a_{1,k+2}, \dots, \underline{\otimes} a_{1n} \\ \underline{\otimes} a_{2,k+1}, \underline{\otimes} a_{2,k+2}, \dots, \underline{\otimes} a_{2n} \\ \vdots \\ \underline{\otimes} a_{m,k+1}, \underline{\otimes} a_{m,k+2}, \dots, \underline{\otimes} a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\overline{\otimes} X_q = [\overline{\otimes} x_1, \overline{\otimes} x_2, \dots, \overline{\otimes} x_k]^T$$

$$\underline{\otimes} X_{q'} = [\underline{\otimes} x_{k+1}, \underline{\otimes} x_{k+2}, \dots, \underline{\otimes} x_n]^T$$

[P2-2]

$$\text{Max } \underline{\otimes} Z = \underline{\otimes} C_q \underline{\otimes} X_q + \underline{\otimes} C_{q'} \overline{\otimes} X_{q'}$$

$$\text{s.t. } \overline{\otimes} A_q \underline{\otimes} X_q + \overline{\otimes} A_{q'} \overline{\otimes} X_{q'} \leq \overline{\otimes} B$$

$$\otimes X_q \geq 0$$

$$\overline{\otimes} X_{q'} \geq 0$$

$$\text{where, } \otimes C_q = [\otimes c_1, \otimes c_2, \dots, \otimes c_k]$$

$$\otimes C_{q'} = [\otimes c_{k+1}, \otimes c_{k+2}, \dots, \otimes c_n]$$

$$\overline{\otimes} A_q = \begin{bmatrix} \overline{\otimes} a_{11}, \overline{\otimes} a_{12}, \dots, \overline{\otimes} a_{1k} \\ \overline{\otimes} a_{21}, \overline{\otimes} a_{22}, \dots, \overline{\otimes} a_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \overline{\otimes} a_{m1}, \overline{\otimes} a_{m2}, \dots, \overline{\otimes} a_{mk} \end{bmatrix}$$

$$\otimes A_{q'} = \begin{bmatrix} \otimes a_{1,k+1}, \otimes a_{1,k+2}, \dots, \otimes a_{1n} \\ \otimes a_{2,k+1}, \otimes a_{2,k+2}, \dots, \otimes a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \otimes a_{m,k+1}, \otimes a_{m,k+2}, \dots, \otimes a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\otimes X_q = [\otimes x_1, \otimes x_2, \dots, \otimes x_k]^T$$

$$\overline{\otimes} X_{q'} = [\overline{\otimes} x_{k+1}, \overline{\otimes} x_{k+2}, \dots, \overline{\otimes} x_n]^T$$

分別求解 [P2-1] 與 [P2-2]，可得到最佳的灰色目標值 $\otimes Z = [\otimes Z, \overline{\otimes} Z]$ 與灰色決策變數 $\otimes x_i = [\otimes x_i, \overline{\otimes} x_i], \forall i$ 。然而在 Huang 和 Moore^[21] 研究中，僅證明目標為「最大化」時，可以拆成二個子模式求解；因此，在「最小化」目標時，應將其乘上負號轉變成「最大化」目標^[22]。此外，在限制式的部分，左邊須為變數項且小於或等於右邊常數項，若限制式非此種情況，亦需同乘負號以達到這個條件，最後，將最大化問題目標值乘上 (-1) 即可得原「最小化」問題之目標值。

4.2 Grey TOPSIS 求解程序

圖 2 顯示本研究所設計 Grey TOPSIS 求解程序，各步驟說明如下：

1. 灰色多目標線性規劃問題，令有 k 個目標式、 n 個決策變數與 m 個限制式如下：

[P3]

$$\text{Max/Min} [\otimes Z_1(\otimes x), \otimes Z_2(\otimes x), \dots, \otimes Z_k(\otimes x)]$$

$$\text{s.t. } \otimes x \in \otimes X = \{ \otimes x \mid \otimes g_h(\otimes x) \{ \leq, =, \geq \} 0, h = 1, 2, \dots, m \}$$

其中， $\otimes Z_j(\otimes x)$ 代表追求 max 之目標式， $j \in J$ ； $\otimes Z_i(\otimes x)$ 代表追求 min 之目標式， $i \in I$ ； $\otimes x = [\otimes x_1, \otimes x_2, \dots, \otimes x_n]$ 為所有決策變數， $\otimes X$ 為灰色可行解區。以 [P1] 為例， $k = 4$ 、

$J = \{2, 3\}$ 、 $I = \{1, 4\}$ ，[P3] 之目標式為 $[\text{Min} \otimes Z_1(\otimes x); \text{Max} \otimes Z_2(\otimes x); \text{Max} \otimes Z_3(\otimes x); \text{Min} \otimes Z_4(\otimes x)]$ 。

2. 尋找 GPIS 與 GNIS。令 $\otimes Z^* = \{\text{Max} \otimes Z_j (\text{或} \text{Min} \otimes Z_i), \forall j (\text{或} i)\}$ ，且 $\otimes Z^- = \{\text{Min} \otimes Z_j (\text{或} \text{Max} \otimes Z_i), \forall j (\text{或} i)\}$ ；其中， $j \in J$ 且 $i \in I$ ，則 $\otimes Z^* = \{\otimes Z_1^*, \otimes Z_2^*, \dots, \otimes Z_k^*\}$ 為灰色正理想解 (grey PIS, 簡稱 GPIS)， $\otimes Z^- = \{\otimes Z_1^-, \otimes Z_2^-, \dots, \otimes Z_k^-\}$ 為灰色負理想解 (grey NIS, 簡稱 GNIS)；本步驟計須求解 $2k$ 次前段所述灰色線性規劃問題。以 [P1] 為例， $\otimes Z^* = \{\text{Min} \otimes Z_1, \text{Max} \otimes Z_2, \text{Max} \otimes Z_3, \text{Min} \otimes Z_4\}$ ， $\otimes Z^- = \{\text{Max} \otimes Z_1, \text{Min} \otimes Z_2, \text{Min} \otimes Z_3, \text{Max} \otimes Z_4\}$ ，計須求解 $2 \times 4 = 8$ 次灰色線性規劃問題。

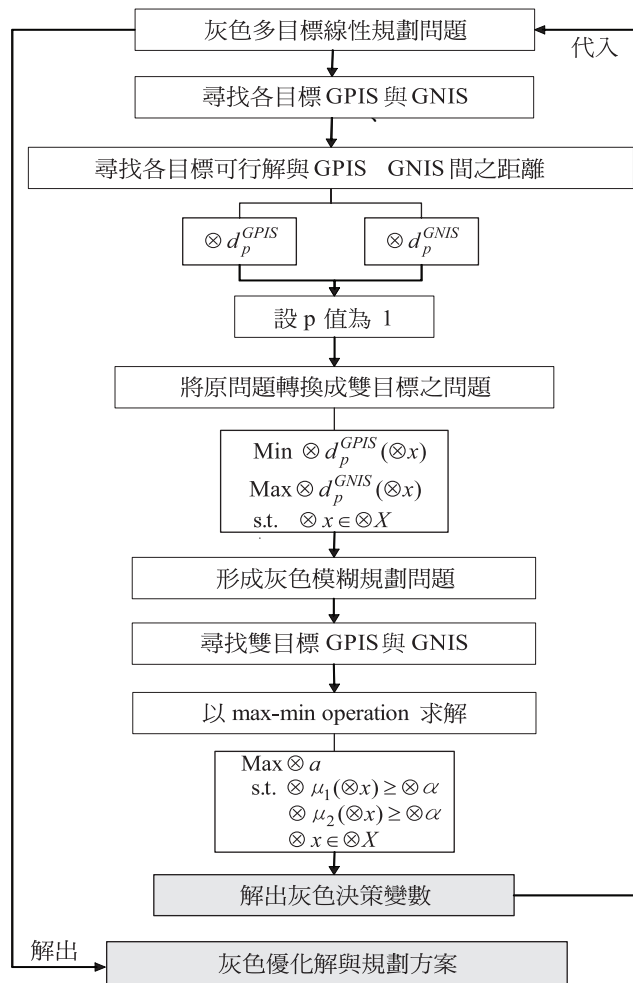


圖 2 Grey TOPSIS 求解程序

3. 尋找各可行解與 GPIS、GNIS 間之「灰色距離」，距離計算公式如下：

$$\otimes d_p^{GPIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{\otimes Z_j^* - \otimes Z_j(\otimes x)}{\otimes Z_j^* - \otimes Z_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{\otimes Z_i(\otimes x) - \otimes Z_i^*}{\otimes Z_i^- - \otimes Z_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \quad (23)$$

$$\otimes d_p^{GNIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{\otimes Z_j(\otimes x) - \otimes Z_j^-}{\otimes Z_j^* - \otimes Z_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{\otimes Z_i^- - \otimes Z_i(\otimes x)}{\otimes Z_i^- - \otimes Z_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \quad (24)$$

其中， $w_t (t=1, 2, \dots, k)$ 代表各目標式之權重； $p=1, 2, \dots, \infty$ ，代表不同的「距離」意義。根據 Lai 等人^[19]設定 p 值的原意，是如果 p 值愈大，則權重值愈大的目標式將會有愈大的影響力，如 p 值設在無限大的時候，則離正、負理想解的距離完全決定在權重最重或目標值最大的目標式上；然而，一方面由於灰色規劃目前未有一個合適的方法求解非線性問題；另一方面，本研究的目標單位差異甚大，設定 p 值不等於 1 會影響求解結果的客觀性，因此，建議將 p 值設為 1 進行求解，未來可視問題特性與求解方法進程而使用其他 p 值。以 [P1] 為例，兩個灰色距離如下：

$$\begin{aligned} \otimes d_1^{GPIS} &= w_1 \left[\frac{\otimes Z_1(\otimes x) - \otimes Z_1^*}{\otimes Z_1^- - \otimes Z_1^*} \right] + w_2 \left[\frac{\otimes Z_2^* - \otimes Z_2(\otimes x)}{\otimes Z_2^* - \otimes Z_2^-} \right] + w_3 \left[\frac{\otimes Z_3^* - \otimes Z_3(\otimes x)}{\otimes Z_3^* - \otimes Z_3^-} \right] \\ &\quad + w_4 \left[\frac{\otimes Z_4(\otimes x) - \otimes Z_4^*}{\otimes Z_4^- - \otimes Z_4^*} \right] \\ \otimes d_1^{GNIS} &= w_1 \left[\frac{\otimes Z_1^- - \otimes Z_1(\otimes x)}{\otimes Z_1^- - \otimes Z_1^*} \right] + w_2 \left[\frac{\otimes Z_2(\otimes x) - \otimes Z_2^-}{\otimes Z_2^* - \otimes Z_2^-} \right] + w_3 \left[\frac{\otimes Z_3(\otimes x) - \otimes Z_3^-}{\otimes Z_3^* - \otimes Z_3^-} \right] \\ &\quad + w_4 \left[\frac{\otimes Z_4^- - \otimes Z_4(\otimes x)}{\otimes Z_4^- - \otimes Z_4^*} \right] \end{aligned}$$

4. 將 [P3] 問題轉化為以下之雙目標問題：

[P4]

$$\text{Min } \otimes d_p^{GPIS}(\otimes x)$$

$$\text{Max } \otimes d_p^{GNIS}(\otimes x)$$

$$\text{s.t. } \otimes x \in \otimes X$$

[P4] 問題二個目標間具衝突性，無法同時獲得最佳解，每個目標僅能達到「部分」最佳化，由於「部分」此語意具模糊性，故可以隸屬函數來描述「部分」的程度。假設隸屬函數在

$(\otimes d_p^{pn})^*$ 與 $(\otimes d_p^{pn})^-$ ($pn = \text{GPIS}$ 或 GNIS) 間為線性關係，其中：

$(\otimes d_p^{\text{GPIS}})^* = \text{Min}_{\otimes x \in \otimes X} \otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x)$ 解得 $\otimes x^P$ ； $(\otimes d_p^{\text{GNIS}})^* = \text{Max}_{\otimes x \in \otimes X} \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x)$ 解得 $\otimes x^N$ ； $(\otimes d_p^{\text{GPIS}})^- = \otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x^N)$ 且 $(\otimes d_p^{\text{GNIS}})^- = \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x^P)$ 。則隸屬函數可以表示如下：

$$\otimes \mu_1(\otimes x) = \begin{cases} 1 & \text{若 } \otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x) < (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^* \\ 1 - \frac{\otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x) - (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^*}{(\otimes d_p^{\text{GPIS}})^- - (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^*} & \text{若 } (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^- \geq \otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x) \geq (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^* \\ 0 & \text{若 } \otimes d_p^{\text{GPIS}}(\otimes x) > (\otimes d_p^{\text{GPIS}})^- \end{cases} \quad (25)$$

$$\otimes \mu_2(\otimes x) = \begin{cases} 1 & \text{若 } \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x) > (\otimes d_p^{\text{GNIS}})^* \\ 1 - \frac{(\otimes d_p^{\text{GNIS}})^* - \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x)}{(\otimes d_p^{\text{GNIS}})^* - (\otimes d_p^{\text{GNIS}})^-} & \text{若 } (\otimes d_p^{\text{GNIS}})^- \leq \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x) \leq (\otimes d_p^{\text{GNIS}})^* \\ 0 & \text{若 } \otimes d_p^{\text{GNIS}}(\otimes x) < (\otimes d_p^{\text{GNIS}})^- \end{cases} \quad (26)$$

根據 (25) 式與 (26) 式之定義，以模糊規劃解 [P4] 如下：

[P5]

Max $\otimes \alpha$

s.t $\otimes \mu_1(\otimes x) \geq \otimes \alpha$

$\otimes \mu_2(\otimes x) \geq \otimes \alpha$

$\otimes x \in \otimes X$

[P5] 為灰色模糊規劃，可直接視為灰色線性規劃求解，解答為「灰色決策變數」，將之置入原問題目標式，可求得「灰色目標值」。

五、實例研究

本段針對資料完整且已有捷運系統營運之臺北市進行實例研究，確認模式在實務操作上的可行性，分析結果可協助政府檢討市綜合發展計畫。首先說明規劃範圍與資料，繼而說明模式規劃結果，最後則進行敏感度分析。

5.1 問題說明

本研究以臺北市為規劃範圍，規劃情境僅包含捷運系統初期路網，由於初期路網尚連

出至臺北縣的淡水鎮、板橋市、中永和市以及新店市，因應模式需要，將上述市鎮設為虛擬分區，只用於檢核流量守恒與容量限制，不作活動量規劃。至於規劃範圍內的分區，係依臺北市政府交通局^[23]劃分的 212 個交通分區整理，其中有捷運車站的分區僅 47 個，受限於使用軟體處理能力 (Hyper Lindo 7.0 版)，本研究將無捷運車站的分區合併為 35 個分區。總計將臺北市內合併整理為 82 個分區，加上周圍臺北縣的淡水鎮 (D1)、板橋市 (D2)、中永和市 (D3) 與新店市 (D4) 等 4 個虛擬分區，如圖 3 所示。另外，由於實例研究所使用資料大部分取自臺北市政府交通局^[23]，為求一致，本研究據以決定民國 89 年為基年，民國 114 年為計畫目標年。

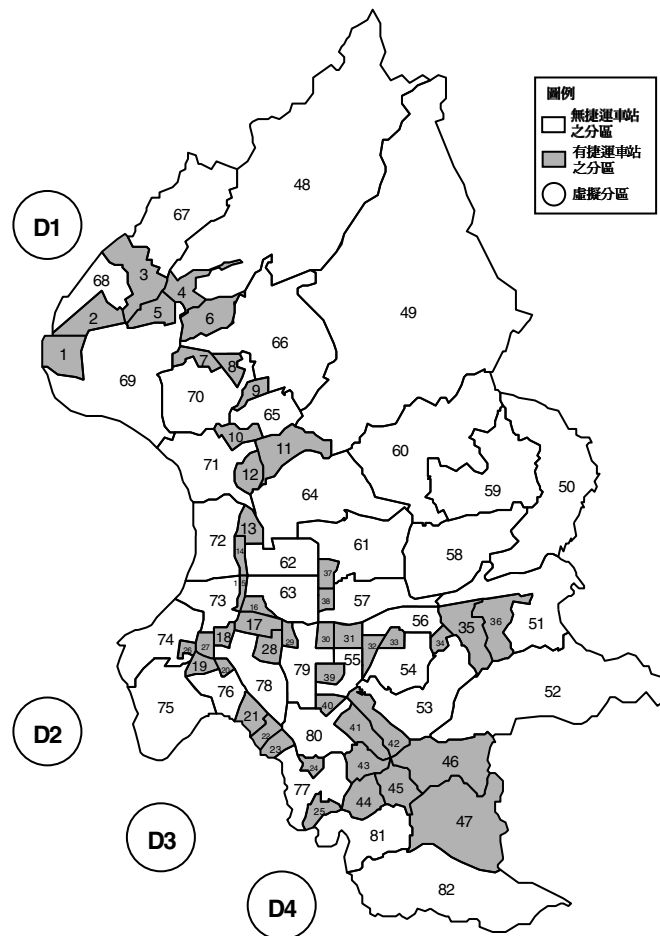


圖 3 規劃範圍分區示意

[P1] 模式使用參數包括「白數」與「灰數」兩種，本研究先估計所有參數之白數，再將屬於灰數的參數以 10% 之「灰度」，將估計之白數視為「白化中值」並各加上 ($\pm 5.26\%$)

成為灰數的上界 (+5.26%) 與下界 (-5.26%)。灰度 (D) 代表資訊的不明確程度，可依案例與資訊特性由規劃者決定，定義如下：

$$D = (\bar{\otimes}a - \underline{\otimes}a) / \bar{\otimes}a \quad (27)$$

例如觀察數個樣本的的旅次產生率 $\otimes(o_{ij})$ ，記錄最大值 $\bar{\otimes}(o_{ij})$ 與最小值 $\underline{\otimes}(o_{ij})$ 間的差異約占最大值的 10%，則可以此估算為灰度。而白化中值 (M) 與灰數上下界的關係如下：

$$M = (\bar{\otimes}a + \underline{\otimes}a) / 2 \quad (28)$$

聯立 (27) 式與 (28) 式，可決定當 $D = 10\%$ 時，灰數上下界約在 $M \times (1 \pm 5.26\%)$ 範圍內。

各項參數之估計說明如下：

1. 目標式之白數部分

目標三之捷運搭乘率 (K_{ij})，係根據臺北市政府交通局^[23]對臺北都會區 376 個交通分區進行約 13 萬戶的住戶交通旅次訪問調查，針對「乘坐交通工具」與「旅次目的」問項作交叉統計，統計出民國 89 年臺北市的居住、工作與休閒活動人口在各分區的捷運搭乘率。目標四之各分區間旅運時間 (t_{ik}) 分為二個部分，第一個部分是二個分區皆有捷運車站，該部分之旅運時間乃依照臺北大眾捷運公司在網站上公布之各站間之旅運與等車時間加總，代表各分區間之旅運時間；第二個部分是指二個分區未同時有捷運車站者，則依據臺北市政府交通局^[23]所進行的住戶交通旅次訪問調查中「乘坐交通工具時間」之統計。

2. 限制式之白數部分

(1) 以容受力建構分區容量上限

首先依據臺北市政府都市發展局^[24]之研究，臺北市的容受力在日間人口部分為 385 萬人，換算成樓地板面積則為 13,971.1 公頃，換算標準依據臺北市政府都市發展局^[25]之研究。然而，此僅為臺北市全區之容量上限，而分區中各種活動容量上限部分乃依據「分區中各種活動之現況容積 $\times$ (臺北市全區之容量上限 $\div$ 臺北市現況總容積)」調整；其中，現況之樓地板面積整理自民國 89 年房屋稅登錄資料。

本研究並依據環境、設施與經濟容受力的條件來限制分區發展的上限。環境容受力的參數為各分區供水量上限 ($\bar{F}_i$)，以臺北市民國 89 年的出配水量約為 970,650 千 m^3 作基礎，假設至民國 114 年間的自然供水量仍是固定且無興建水庫計畫，以前述出配水量作為臺北市的水資源供給上限，並依照現況總活動量比率分配至各分區。在設施容受力部分，本研究依據現況及計畫之公共設施面積，參考「都市計畫通盤檢討實施辦法」之規定，推算各分區公共設施可以服務之人口數 ($\bar{P}_i$)。在經濟容受力部分，本研究依據臺北市政府交通局^[23]所設計的「及業人口數」推估公式，推估各分區民國 114 年的及業人口數，以供作「各分區可以提供就業機會之上限 ($\bar{W}_i$)」使用。關於單一面容受力評估標準 (q_c) 的設定，係依政策或生活品質要求水準由個案決定；根據李家儂^[16]所進行簡例測試發現，將其設定為 1.4，不僅可以擴大可行解區，又可以確保活動量不會逾越各項容受力的限制，

本實例研究以此水準進行分析。

(2) 發展現況差距的限制

規劃範圍內居住人口的容量上限 (N_C)，係依據臺北市政府都市發展局^[24]研究臺北市在自然環境容受力下為 295 萬人；而臺北市內現況的居住人口數 (N_P) 為 2,646,474 人；臺北市現況的居住人口數不可變動比率 (n_p) 之設定，係由於臺北市近年來雖有人口減少的現象 (亦在 5% 內)，但已到達穩定階段，因此不可變動比率定為 95%；而各分區之可變動比率 (A_{ij}) 則設定為 20% (每一個分區每一種活動皆相同)。

各分區居住、工作與休閒活動的現況活動量 (N_{ij}) 部分，依本研究之定義，現況居住活動量為夜間人口數在臺北市為 2,646,474 人、工作活動量為及業人口數在臺北市為 1,886,885 人^[23]。而休閒人口的定義，係指「一日內會在臺北市行使商業性消費行為的人口，如到零售業、百貨業、餐飲業、娛樂業等地方消費，以滿足消費性休閒活動。」又馮正民等^[26]指出，「日間人口」指的是在某一地點進行各種活動類型之人口數，此活動類型包括購物、娛樂、休閒、辦公、商務等，而辦公與商務亦會在區內進行購物、娛樂與休閒活動，因此，「日間人口」即是進行購物、娛樂與休閒的人口，這些人口本研究統稱為休閒活動量；過去有關北部區域或臺北市的日間人口估算，僅有臺北市政府工務局都市計劃處^[27]所做調查，其採一手資料的實地調查，指出臺北市的日間人口約為居住人口的 1.35 倍，因此，民國 89 年的日間人口即休閒人口估算為 3,572,740 人。

(3) 經濟規模限制

在各種活動的經濟規模限制部分，需要的參數包括：每一個分區各種活動的最小經濟規模 (H_{ij}) 及一個大數 (m)，前者本研究假設每一種活動在各個地方的最小經濟規模皆是相同，而臺北市的部分，本研究以臺北市內各分區中現況居住、工作與休閒活動量最小值，視其為該種活動量的最小經濟規模，因此，最小經濟規模，在居住活動為 1,853 人、工作活動量為 483 人與休閒活動量為 3,122 人。大數設為 10^6 。

(4) 活動類型組合與發展特色的限制

根據臺北市政府都市發展局^[28]的研究指出，不同的捷運車站類型對於土地使用有不同之影響，因此將臺北市內之捷運車站分為五個群組：城市中心型 ($d=5$)、交通中心型 ($d=4$)、辦公商業型 ($d=3$)、住商混合型 ($d=2$) 以及住宅型 ($d=1$)，本研究劃分車站種類所在分區集合 (N_d)，即根據上述之群組予以分類決定。再根據臺北市政府都市發展局^[28]的調查分析與現況發展需求，將商業樓地板面積除以住宅樓地板面積，形成商業使用占住宅使用之倍數比率下限 e_d (當 $u_d=1, d=2 \sim 5$) 或住宅使用占商業使用之倍數比率下限 e_d (當 $u_d=-1, d=1$)。

(5) 大眾捷運系統尖峰小時使用量占全日使用量之比率

大眾捷運系統上午尖峰小時使用量占全日使用量之比率 (g)，本研究係依據臺北大眾捷運公司提供「民國 89 年全日分時段旅客起迄表」資料進行統計，發現上午尖峰時間 (7:00AM ~ 9:00AM) 每小時的使用量占全日使用量比率為 8.85%。

3. 目標式之灰數部分

目標一中含有二個灰參數，一為每種活動每一單位每年會產生空氣、水與垃圾污染的數量 ($\otimes(P'_j)$)；二為此三種污染每單位需要多少防制成本 ($\otimes(C')$)。前者，本研究整理行政院經濟建設委員會^[29]的實證研究與臺北市政府環境保護局^[30]的基礎資料（根據研究中所建立的活動間產生各種污染之簡易比率關係），分別整理每單位居住人口、工作人口以及休閒人口所製造之二氧化碳、廢水以及垃圾量，再將之轉成灰度 10% 之灰數。後者，三種污染物每單位防制成本，係依據臺北市政府環境保護局^[30]所編製的污染防制成本進行估算。目標三中各分區的居住活動量會產生的旅次產生數 ($\otimes(O_{ij})$) 與工作和休閒活動量會吸引的旅次吸引數 ($\otimes(D_{ij})$)，本研究係依據臺北市政府交通局^[23]所預測之白數值轉換成灰數值。

4. 限制式之灰數部分

環境容受力以各分區的供水量為限制，灰參數包括每單位居住、工作或休閒活動所需要之供水灰量 ($\otimes(f_j)$) 其中，由於未有對參數 $\otimes(f_j)$ 所做之研究，因此，本研究假設每種活動、每單位每年的需要的供水量皆相同，因此將民國 89 年的售水量除以居住、工作與休閒的總人口灰數，得到 $[141.1, 156.7] m^3$ 。與發展現況差距限制的灰參數部分，需要每單位居住、工作與休閒活動量所需要的樓地板灰面積 ($\otimes(R_j)$)，本研究依據現況樓地板面積除以現況活動人口灰數得之。在每一單位居住人口所需要的工作人口灰比率 ($\otimes(b_p)$) 與每一單位居住人口所需要的休閒人口灰比率 ($\otimes(s_p)$)，本研究亦依據現況數據，再將之轉成灰數，分別為 $[0.68, 0.75]$ 與 $[1.28, 1.42]$ 。大眾捷運系統路段之灰容量 ($\otimes(C_d)$)，可以分為高運量（除了木柵線之外皆是）與中運量（木柵線），又本研究依照臺北大眾捷運公司在網站上公布之車廂容量與每小時行駛班次，得到高運量捷運之灰容量為 $[41837, 46483]$ 旅客／小時；而中運量捷運之灰容量為 $[8640, 9600]$ 旅客／小時。

5.2 規劃結果

根據上述分區與參數資料，規劃臺北市各種活動量之分布，為控制篇幅，本文僅以圖 4 表達部分分區之規劃結果。圖 4 所示 11 個分區涵蓋臺北市大安區與信義區北半部，設有 6 個捷運站，分屬辦公商業型與住商混合型兩類，各分區所標示為三種活動量之規劃下界與上界；例如 40 分區屬住商混合型捷運站區，建議規劃約 7 千到 8 千 6 百人之居住人口活動量、1 萬到 1 萬 2 千人之及業人口活動量、1 萬 4 千到 1 萬 6 千人之休閒人口活動量，規劃者可依當地其他特色與政策考量彈性決定活動量水準。

比較規劃目標值與現況目標值如表 1，發現：(1) 目標二在規劃與現況之表現相同，顯示臺北市已達到本研究所定義的混合土地使用目標；(2) 規劃之灰色目標值在目標三與目標四完全優於現況使用，將目標值除以活動總量以作為比較基礎，發現規劃之每單位活動量所產生之捷運搭乘數其下界 0.11 已高於現況使用 0.09，規劃之商業行為旅運時間上界 0.19 也低於現況使用的 0.37；(3) 規劃之目標一白化中值優於現況使用，雖然此目標之灰

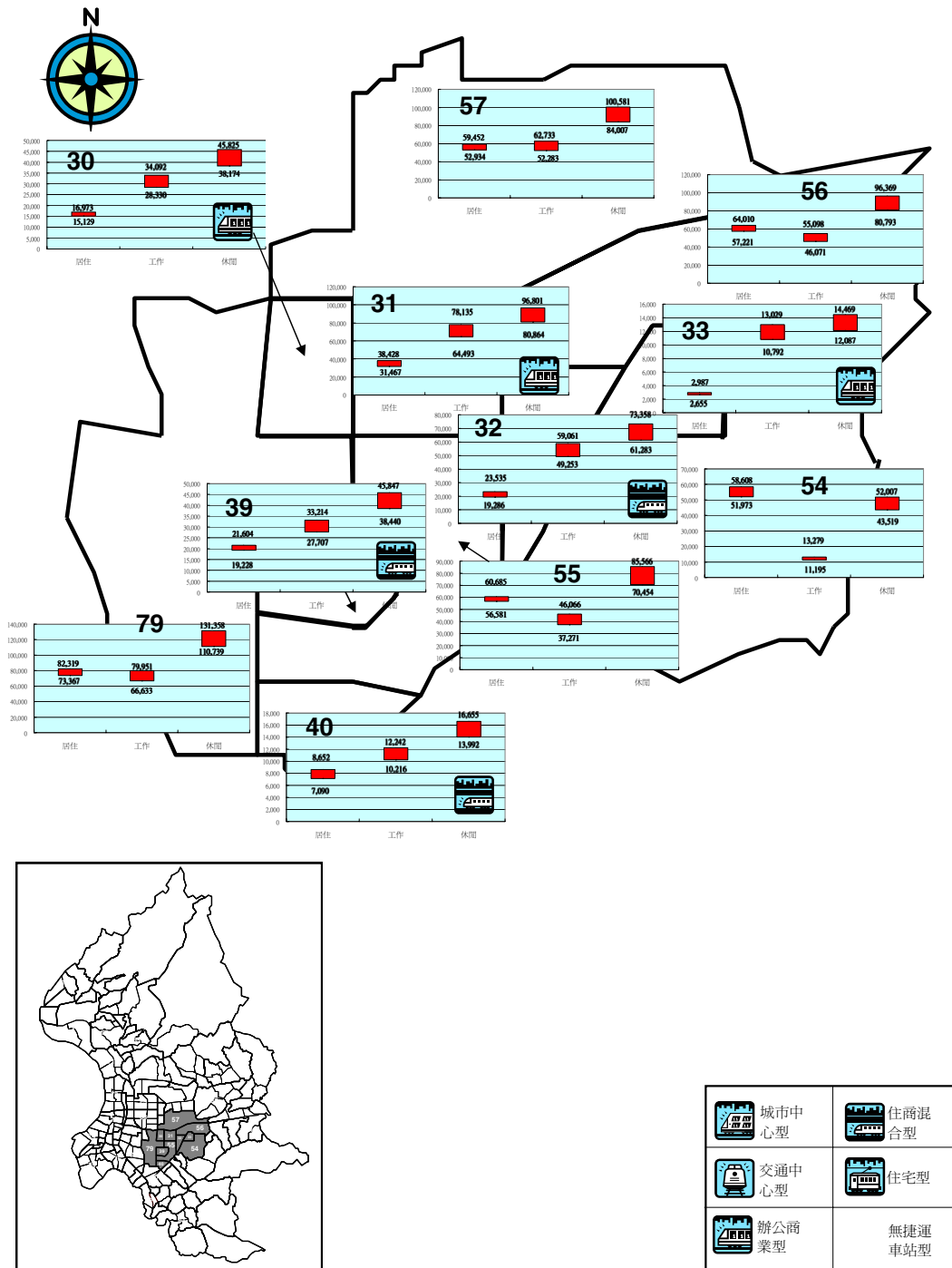


圖 4 第七大區活動量規劃示意

度較高致並非完全優於現況使用，然而其白化中值之規劃每單位活動量所需支付的污染防制成本低於現況。以上顯示現況在 TOD 四個目標上的表現，整體而言劣於模式規劃結果。

進一步檢視規劃活動之密度分布，臺北市全區的灰密度在居住活動為 [118, 135]人／公頃、工作活動為 [81, 98]人／公頃、休閒活動為 [152, 182]人／公頃，而有捷運站之分區的各種活動量密度，又約為沒有捷運站分區的 2 倍水準。此外，三種活動的密度以大同、中山、中正、大安與信義等核心區為最高，而有捷運車站的分區其密度普遍又高於沒有設站之地區；在全部有設捷運站的分區中，居住、工作與休閒活動呈現互補狀態，如在工作與休閒活動集中的分區，其周邊就會有居住集中的分區，呈現居住與就業互補的情況。

表 1 臺北市現況使用與模式規劃結果比較

目標 (單位)	項目	現況使用下之目標值	現況使用下 之平均目標值 (註 1)	模式規劃下 之平均目標值 (註 2)	
				灰數	中值
目標一 (元)		7,361,537,880	908	[643, 1103]	873
目標二 (種類數)		246	246 (註 3)	246 (註 3)	246 (註 3)
目標三 (人旅次)		732,353	0.09	[0.11, 0.17]	0.14
目標四 (小時)		970,374	0.37	[0.13, 0.19]	0.16

資料來源：本研究整理。

註 1：係指將目標值除以現況活動人口，唯有目標一須除以 (居住加上工作與休閒活動總量)；目標三須除以 (居住加上工作與休閒活動總量)；目標四須除以居住總量。

註 2：係指將規劃之灰色目標值除以規劃之灰色活動量。

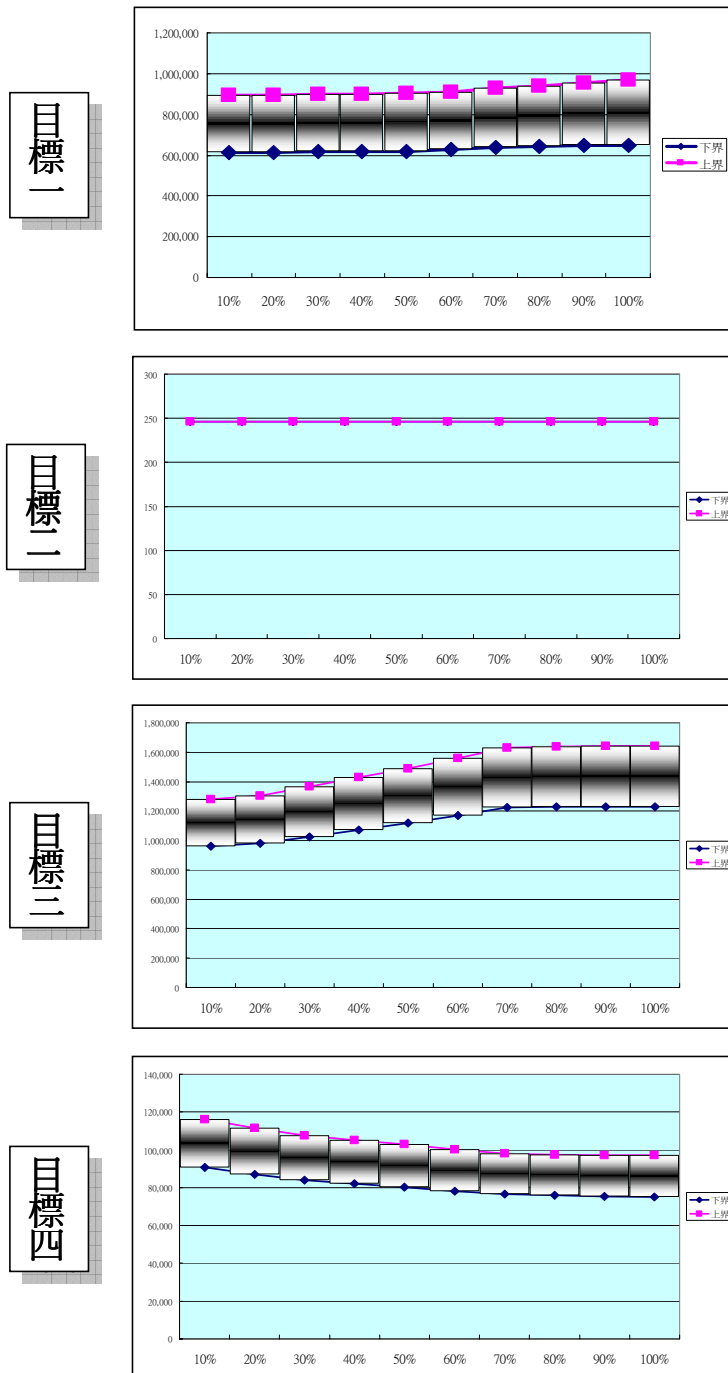
註 3：均為目標值，非平均目標值。

5.3 敏感度分析

本研究進行以下兩種敏感度分析：

1. 提高捷運系統搭乘率

目的在討論當政府採取鼓勵措施提高捷運系統搭乘率時，對規劃目標值會發生的影響。本研究將各分區各種活動之捷運系統現況搭乘率依序提高「原搭乘率」的 10%、20%、…、100%，觀察模式規劃結果之目標值變化如圖 5，發現「捷運系統搭乘率」的提升，對屬於最大化目標的目標三有正面的影響，其目標值會隨著搭乘率提高而提升，然而提高到增加比率 70% 之後 (原現況搭乘率乘以 170%，全區平均約為 34%)，其灰色目標值趨於平緩，每日捷運搭乘數約從 122 萬至 163 萬次，主要原因係受到捷運路線容量限制 (上午尖峰時間)。然而目標一之環境污染防制成本卻不斷地提高，直到搭乘率提高比率 70% 之後，亦有和緩的趨勢。而在目標二的部分，一直都維持達成率 100% 且灰色程度為 0，其表示目標二受到「最小經濟規模」與「現況不可變動之比率」限制，以致於目標二無論



註：各圖之橫軸為大眾捷運系統搭乘率提高比率；縱軸為各目標之表現值，單位同表 1。

圖 5 捷運系統搭乘率敏感度分析示意

參數如何變化都不會影響到其目標值的變動。在目標四的部分，雖然目標一的灰色目標值不斷地提升，而屬於最小化的目標三卻不斷地減低「行使商業行為的旅運時間」，此係因為搭乘捷運的人數增加且土地使用混合度高，使得各個分區可以便捷地行使商業行為，總旅運時間當然也跟著降低。綜合上述變化可以發現，當有設捷運站的分區，透過政府的政策獎勵大眾搭乘捷運系統，提升全區平均搭乘率約達 34% 時，可使得捷運系統容量最低的路段將近 100% 被使用（上午尖峰時間），並可降低行使商業行為的旅運時間，然須注意環境污染防治成本增加相對於捷運旅客數增加與旅運時間減少之效益間的權衡。

2. 增加參數之灰度

實例分析設定灰參數之灰度為 10%，為了解資訊不明確程度提高對規劃結果的影響，逐次調整所有灰參數之灰度為 20% 與 30%，觀察目標值灰度變化如圖 6 所示（目標二可不討論，因為其灰度一直維持在 0%）。發現當目標中的灰參數間皆是相加關係時（如目標三與目標四），其規劃出來的目標值灰度會遠小於目標中有灰參數相乘或相除關係的情形（如目標一）；同時，參數之灰度會正向地影響到目標值的灰度。若規劃者需要更明確的分析結果，可減低參數之灰度；反之，若規劃者可容許之目標值灰度愈高，則可以提高參數之灰度。換一個面向來看，當資訊愈不明確時，輸入資料（參數）之灰度會愈大，導至輸出結果的灰度愈大，如此保留規劃彈性，以因應發展的不可掌握性與風險。但上述特色尚須考量到目標中灰參數是否有相乘除或相加減的關係，若是有相乘除關係且灰參數的灰度超過 20% 時，可能出現無解狀況；而若是有相加減關係且參數的灰度超過 30% 時，亦可能出現無解。以上是同時調整所有灰參數之討論，若有需要了解個別參數灰度對目標表現的影響，亦可進行個別的分析與比較。

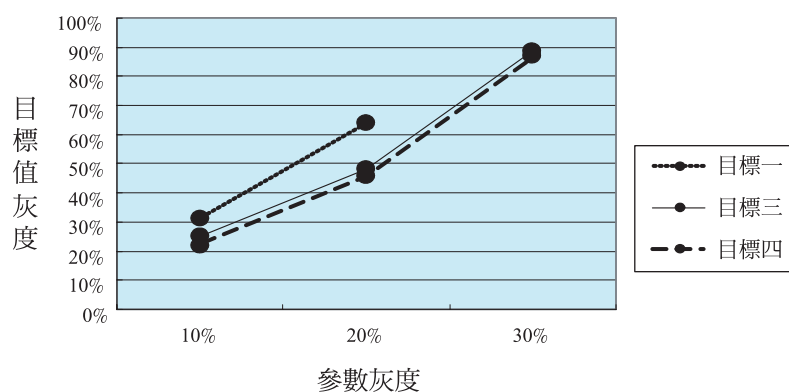


圖 6 參數灰度敏感度分析

六、結論與建議

雖然 TOD 規劃理念受到重視與討論，但將理念轉化為實際的規劃分析模式仍有待努力。與過去少數的 TOD 規劃模式研究比較，本研究所建立的規劃模式具有以下兩項改進：一是使用灰色的參數與決策變數，可處理規劃作業常面臨的資訊不明確問題，並滿足保留規劃彈性及因應發展風險的需求；二是補足過去 TOD 較重視車站地區微觀規劃的缺憾，提供對整個都市活動分布結構的宏觀看法與分析工具。另外，研究中所設計的 Grey TOPSIS 為通用型的求解方法，實例分析過程已確認它的功能，未來可應用於其他多目標灰色線性規劃問題的求解。

對臺北市所進行實例研究的規劃結果，可提供都市規劃單位檢討綜合發展計畫的參考，並確認現況使用在所設定目標的表現上劣於模式規劃結果。敏感度分析發現，提升全區平均捷運搭乘率約達 34% 時，可使得捷運系統容量最低的路段將近 100% 被使用（上午尖峰時間），並可降低行使商業行為的旅運時間，然須注意環境污染防治成本增加的變化。同時，參數之灰度會正向地影響到目標值的灰度，若規劃者需要更明確的分析結果，可減低參數之灰度；且當資訊愈不明確時，輸入資料（參數）之灰度會愈大，導致輸出結果的灰度愈高。

在應用本文之灰色規劃模式時，建議應注意以下事項：首先是適當的規劃決策問題，本模式係針對都市綱要計畫階段的活動分布規劃而設計，不適用於小地區或細部計畫問題；其次，在資訊不明確的程度上，是只能掌握參數範圍而無法確認範圍內各值之發生機率或可能性，若機率或可能性可被確認，則可另使用隨機規劃或模糊規劃方法進行模式求解；再其次是適當的分區，應先考量都市資料的統計單元，再依據地區發展特性，決定合適的分析單元。

最後，關於模式之後續研究方向，本文提出以下建議供參考：

1. 捷運系統的路線容量乃是採取「上午尖峰時間」的限制，因此，當敏感度分析「捷運搭乘率」增加原比率的 70% 已達到飽和，但非尖峰時段並未將其考慮進去，後續模式的修改與擴充可將其納入考量。另外，為使模式能夠更正確地模擬分析單元間的互動關係，未來應加強模式在旅次分布與路網指派上的分析能力。
2. 土地使用規劃必須考慮不動產市場供需與地租議題，以確保規劃結果的合理性與可行性；本研究雖因不動產市場因素在 AHP 調查分析結果之相對權重較低，而未將之考量為模式目標或限制，但模式結構仍有必要調整以處理市場供需機制；例如在限制條件中增加土地供需與均衡地租的關係式，並增加使社會總地租最大化之經濟效率目標，或是使各地規劃後均衡地租與規劃前地租差距最小化之社會公平目標，上述想法有待後續模式修改的考量與檢驗。
3. 複雜都市問題常形成非線性關係，未來模式應擴充為非線性灰色規劃問題，並以適當方

法設計求解程序。

4. 由於「環境品質」並不容易具體衡量，它牽涉到多向度評估與民眾認知的問題，本研究代之以可客觀衡量的「環境污染防治成本」設計目標一之列式，此為本研究在列式上的限制。未來應設法解決此列式上的限制，以更適當且精確的方法衡量環境品質，使專家學者意見獲得具體的反映與處理。
5. 實例研究僅以臺北都會區大眾捷運系統初期路網為資料輸入對象，後續可以將公車路網與大眾捷運系統遠期路網納入模式中分析，更可提高規劃結果之適當性與價值。

參考文獻

1. Bernick, M. and Cervero, R., *Transit Villages in the 21st Century*, McGraw-Hill Companies, New York, 1997.
2. Freilich, R. H., "The Land-Use Implication of Transit-Oriented Development: Controlling the Demand Side of Transportation Congestion and Urban Sprawl", *The Urban Lawyer*, Vol. 30, No. 3, 1998, pp. 547-572.
3. 張學孔、錢學陶、杜雲龍，「大眾運輸導向之都市發展策略」，*捷運技術半年刊*，第 21 期，民國八十九年，頁 1-16。
4. Kaneko, Y. and Fukuda, A., "A Location Control Model for Transit-Oriented Development", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 3, No. 4, 1999, pp. 137-148.
5. Brotchie, J. F., Dickey, J. W., and Sharpe, R., *TOPAZ—General Planning Technique and Its Applications at the Regional, Urban, and Facility Planning Levels*, Springer-Verlag, Berlin, 1980.
6. Ridgley, M. A. and Giambelluca, T. W., "Linking Water-Balance Simulation and Multiobjective Programming: Land Use Plan Design in Hawaii", *Environment and Planning B*, Vol. 19, 1992, pp. 317-336.
7. Lin, J. J. and Feng, C. M., "A Bi-Level Programming Model for the Land Use-Network Design Problem", *The Annals of Regional Science*, Vol. 37, 2003, pp. 93-105.
8. 馮正民、張昭芸，「以捷運營運觀點規劃捷運走廊土地使用之活動量」，*運輸計劃季刊*，第二十二卷，第四期，民國八十二年，頁 429-444。
9. 林楨家、高誌謙，「用於捷運車站周邊地區容積管制檢討之 TOD 規劃模式」，*運輸計劃季刊*，第三十二卷，第三期，民國九十二年，頁 581-600。
10. Deng, J. L., "Control Problems of Grey Systems", *System Control Letter*, Vol. 5, 1982, pp. 288-294.
11. Huang, G. H., Baetz, B. W., and Party, G. G., "A Grey Linear Programming Approach for Waste Management Planning under Uncertainty", *Civil Engineering Systems*, Vol. 9, 1992, pp. 319-335.
12. Huang, G. H. and Baetz, B.W., "A Grey Fuzzy Linear Programming Approach for Waste Management Planning under Uncertainty", *Civil Engineering Systems*, Vol. 10, 1993, pp.

- 123-146.
13. Huang, G. H., Baetz, B. W., and Patry, G. G., "Grey Integer Programming: An Application to Waste Management Planning under Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol. 83, 1995, pp. 594-620.
 14. Chang, N. B. and Wang, S. F., "A Grey Nonlinear Programming Approach for Planning Coastal Wastewater Treatment and Disposal Systems", *Water Science Technology*, Vol. 32, No. 2, 1995, pp. 19-29.
 15. Chang, N. B., Wen, G. G., Cheng, Y. L., and Yong, Y. C., "A Grey Fuzzy Multiobjective Programming Approach for the Optimal Planning of a Reservoir Watershed Part A: Theoretical Development", *Water Research*, Vol. 30, No. 10, 1996, pp. 2329-2334.
 16. 李家儂，都會區大眾運輸導向發展之規劃模式，臺北大學都市計劃研究所碩士論文，民國九十二年。
 17. Cervero, R. and Kockelman, K., "Travel Demand and 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research D*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp. 199-219.
 18. Hwang, C. L. and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making: Method and Application*, Springer-Verlag, Berlin, 1981.
 19. Lai, Y. J., Liu, T. Y., and Hwang, C. L., "TOPSIS for MODM", *European Journal of Operational Research*, Vol. 76, No. 3, 1994, pp. 486-500.
 20. 曾國雄、林楨家，「淡海新市鎮消防隊佈設區位之研究－TOPSIS 多目標規劃之應用」，**都市與計劃**，第 24 卷，第 1 期，民國八十六年，頁 81-98。
 21. Huang, G. and Moore, D., "Grey Linear Programming, Its Solving Approach, and Its Application", *International Journal of System Science*, Vol. 24, No. 1, 1993, pp. 159-172.
 22. Liang, R. H., "Application of Grey Linear Programming to Short-Term Hydro Scheduling", *Electric Power System Research*, Vol. 41, 1997, pp. 159-165.
 23. 臺北市政府交通局，**臺北都會區整體運輸規劃基本資料之調查與驗校 (二)**，民國九十年。
 24. 臺北市政府都市發展局，**臺北市都市永續發展指標與策略研擬**，民國八十五年。
 25. 臺北市政府都市發展局，「打造 21 世紀永續發展、人性科技新臺北－跨世紀臺北城市發展回顧與展望」，發表於臺北跨世紀都市發展政策研討會，臺北市，民國八十八年。
 26. 馮正民、黃台生、鄭雯瑛，「國內外日間人口估算方法彙整及可行性之研究」，八十八年度防災專案計畫研討會 (光碟)，臺北市，民國八十八年。
 27. 臺北市政府工務局都市計劃處，**臺北市日夜間人口分佈與人口成長調查研究報告**，民國八十年。
 28. 臺北市政府都市發展局，**臺北市綜合發展計畫－捷運網路發展對臺北市都市空間結構影響之規劃**，委託交通大學交通運輸研究所辦理，民國九十年。
 29. 行政院經濟建設委員會，**臺灣經濟－社會－環境規劃模式之建立**，民國八十九年。
 30. 臺北市政府環境保護局，**臺北市政府環境保護局年報 (89 年版)**，民國九十年。

