

研究分析方法

馮正民 邱裕鈞 著



建都文化事業股份有限公司出版

C3
20411

港台書

研究分析方法

馮正民 邱裕鈞 著



建都文化事業股份有限公司出版

國家圖書館出版品預行編目資料

研究分析方法= Research Methods

版・—新竹市：建都文化，民 93

面： 公分.—

參考書目：面

ISBN 957-30913-9-9（平裝）

1. 研究分析方法

498.75

研究分析方法

作 者/馮正民

出 版/建都文化事業股份有限公司

發 行 人/張馨文

登 記 證/局版臺省業字第 376 號

地 址/新竹市寶山路 145 巷 29 號一樓

電 話/（03）5727618 傳真：（03）5372832

郵政劃撥/18844848 建都文化事業股份有限公司

印 刷/創色美術印刷廠有限公司

出 版/中華民國九十三年六月

ISBN 957-30913-9-9（平裝）

序

研究者在使用分析方法來探索問題時，常面臨幾個課題：應該採用那個分析方法？分析方法的適用條件及基本原理為何？如何進行方法的操作？應注意那些事項？分析方法未來發展的趨勢有那些？雖然坊間已有許多專書對各個研究分析方法作專門的介紹，但較缺乏介紹「運輸與都市分析」領域的分析方法。此外，有些研究者看到數理的方法論，會感到不得其門而入，若有一本深入淺出且能引導及提醒研究者了解及選用適當的分析方法，則是本書撰寫的宗旨。

我在交大開過數門分析方法的課程，其中包括數學規劃、多目標決策分析、都市及區域分析方法、運輸計畫評估等，也曾指導過近百篇碩博士論文應用分析方法於分析的問題。雖然我一直想綜整撰寫一本有關運輸及都市分析方法的專書，但因深知出一本深入淺出，條理分明且具簡例的書不易，故遲遲未能如願。在 2000 年國科會人文處區域研究及地理學門召集人彭信坤老師舉辦一場「研究方法及資料庫運用」研討會，邀我就「運輸與區域規劃之研究方法」作一回顧與分析，我邀了邱裕鈞老師及林楨家老師共同完成這篇文章。爾後得到許多運輸與都市分析的老師正面的回響與鼓勵，希望看到更詳盡的分析方法，因此激發了我與其他兩位老師進一步將那篇文章擴編成書。後來林楨家老師因忙於研究，故由我與邱裕鈞老師共同完成撰寫此書的工作，所以我要特別感謝彭信坤老師的邀稿及林楨家老師在那篇文章的貢獻。

本書共分八章，包括：統計分析與數學規劃、網路分析與均衡、多評準決策、模糊理論、灰色理論、類神經網路，以及巨集啟發式解法等七大類二十二種研究方法。本書在編寫的安排上，特別強調各分

析方法的目的、重要名詞、假設前提與應用限制、方法的基本特性與操作步驟等，為了讓讀者了解各分析方法數學公式的內容及操作過程，本書特別輔以數字的演算簡例。此外，也介紹各分析方法的發展趨勢與應用領域，並提供相關的文獻。

由於本書取材廣泛，內容繁雜且公式眾多，所以書中錯誤難免，仍盼讀者不吝指正。又本書回顧的應用領域之文獻主要以 2001 年以前國內運輸計劃季刊、運輸學刊、都市與計劃期刊等為主，故國外之回顧資料相形較少，容待以後再補充進來。

最後我要特別感謝邱裕鈞老師各章撰寫的共同貢獻，尤其是他在巨集啟發式演算法及灰色理論撰寫方面的特別貢獻。目前邱老師在逢甲大學也開授「人工智慧方法之應用」及「研究方法之應用與操作」等課程，沒有他的合作，此書無法完成。

馮正民 謹識

2004 年 4 月於

交通大學交通運輸研究所

第一章 緒論 1

1.1 研究方法之分類 1

1.2 研究方法之選擇 3

目 錄

第一章	緒論.....	1
1.1	研究方法之分類.....	1
1.2	研究方法之選擇.....	3
第二章	統計分析與數學規劃.....	5
2.1	統計分析 (Statistical Analysis)	6
2.2	模擬方法 (Simulation Methods)	35
2.3	數學規劃(Mathematical Programming, MP).....	44
第三章	網路分析與均衡.....	53
3.1	網路分析(Network Analysis).....	53
3.2	網路均衡 (Network Equilibrium)	69
第四章	多評準決策.....	83
4.1	多目標規劃(Multi-objective Programming, MOP).....	85
4.2	多準則評估(Multi-attribute Evaluation, MAE).....	108
4.3	資料包絡分析(Data Envelopment Analysis, DEA).....	139
第五章	模糊理論.....	175
5.1	模糊理論(Fuzzy Set Theory).....	175
5.2	模糊迴歸分析(Fuzzy Regression Analysis, FRA).....	182

5.3	模糊數學規劃(Fuzzy Mathematical Programming, FMP)...	199
5.4	模糊邏輯控制(Fuzzy Logic Control, FLC).....	223
第六章	灰色理論.....	255
6.1	灰色理論(Grey Theory).....	255
6.2	灰關聯分析(Grey Relation Analysis, GRA).....	263
6.3	灰預測模型(Grey Forecasting Model, GM).....	278
6.4	灰數學規劃(Grey Mathematical Programming, GMP)	288
第七章	類神經網路.....	297
7.1	類神經網路(Artificial Neural Network)	297
7.2	模糊類神經網路(Fuzzy Neural Network)	322
第八章	巨集啟發式演算法.....	337
8.1	遺傳演算法(Genetic Algorithms, GAs).....	339
8.2	模擬退火法(Simulated Annealing, SA).....	359
8.3	禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)	369
8.4	螞蟻演算法(Ant System, AS)	385

第一章 緒論

1.1 研究方法之分類

「研究方法」有許多分類方式，譬如：質化與量化、解析式與非解析式、實證性與規範性、確定性與隨機性、靜態與動態等，而各分類所包含之方法更是不勝枚舉。其中，在運輸分析（transportation analysis）與都市分析（urban analysis）兩個「區域研究」學門的研究領域中，由於二者均屬於應用科學，故所涵蓋的研究課題相當廣泛，因此使用了許多來自其它領域的研究方法。這些方法因各有其特性而適用於不同的問題，且具備相異的理論基礎，因此常令新進研究人員不知如何決定研究方法，尤其方法的演進速度愈來愈快，如何掌握可用的研究方法實在是一項相當重要的課題。惟由於國內外研究方法之相關文獻相當多，在有限的篇幅下，本書在方法介紹方面主要以「非解析式」且較為廣泛應用的「量化」研究方法為主。

此外，本書也以介紹運輸與都市分析領域常用的研究方法為主，除期望能讓讀者獲得整體的基本概念外，更進而具備選擇適合方法之能力，同時又能掌握各方法在使用上所須注意的關鍵課題，當然這些研究方法也常應用於其他研究領域。本書將於後續章節，依序介紹統計分析與數學規劃、網路分析與均衡、多評準決策、模糊理論、灰色理論、類神經網路，以及巨集啟發式解法等七大類二十二種研究方法，如圖 1.1 所示。各研究方法大致依其使用原因、重要名詞、基本特性、基本模型、假設前提與應用限制、發展趨勢、簡例說明，以及應用領域等內容進行說明。其中，應用領域則再區分為運輸分析與都市分析兩部分，分別介紹其應用問題與參考文獻。由於國內外相關文獻甚多，難以一一列舉，本書儘量引述國內學者所發表之國內文獻為主，以利

讀者對某一領域有興趣時，便於進一步請教各該領域學有專長的國內學者。其中，運輸分析以「運輸計劃季刊」、「運輸學刊」、碩博士論文及相關研討會為主，都市分析以「都市與計劃」、「規劃學報」、碩博士論文及相關研討會為主。

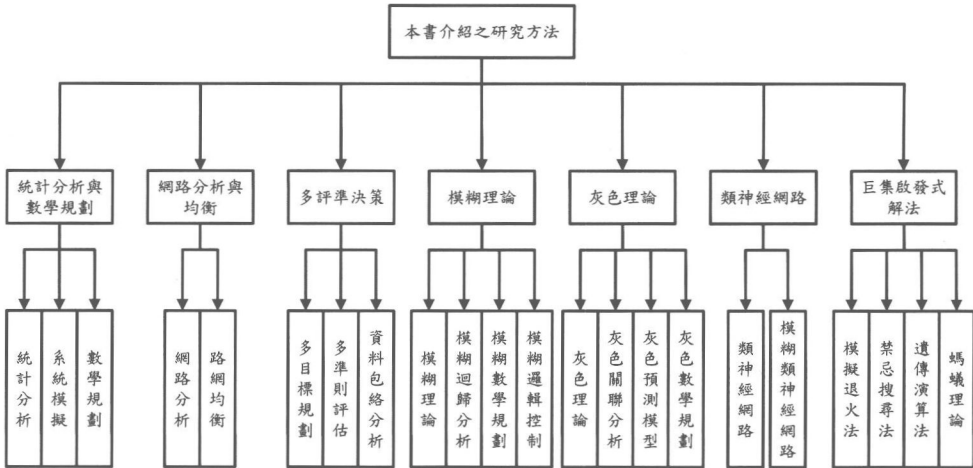


圖 1.1 本書所介紹之研究方法

本書所介紹的方法均為量化的分析方法，但不包括基本的統計及微積分等數學技巧，也不涉及資料蒐集或調查方法。而各方法之介紹也儘量引用最早提出也最簡單之數學模型來加以說明，以避免艱澀高深之數學模型，俾利於未熟悉各該研究方法的讀者研讀。本書期能作為運輸及都市分析研究人員研選及了解研究方法入門之參考，並供作進一步深入研究之基石。惟由於運輸與都市分析領域之研究方法相當廣泛，難免有重要但卻為本書所遺漏者，本書基於作為一個「運輸與都市分析」研究方法回顧與評析之開端，仍期後續研究可就單一方法或新方法有更多的增補，以促進此一領域學術研究之蓬勃發展。

1.2 研究方法之選擇

另外，為利於研究人員研選適當的研究方法，模化並求解問題，我們建議依圖 1.2 的流程加以判斷。一般而言，欲研究的問題大致可分為：分析與預測（例如，台鐵運量的成長狀況與未來趨勢之研究）、最佳化（例如，國內航空業者最適機隊之研究）、評估（例如，公路客運業之績效評估或捷運路線評選之研究）及控制（例如，號誌控制、車輛控制）等四大類。各類問題再依其特性選擇適當之研究方法。此外，如果研究課題屬於「最佳化」者，若問題規模太大、模式太複雜而傳統方法無法有效求解時，則可考慮應用巨集演算法加以求解。如果研究課題具有「模糊特質」者，例如涉及人類主觀判斷或決策環境存有不確定性時，則圖 1.2 中的研究方法可結合模糊理論，例如模糊迴歸分析、模糊數學規劃、模糊多目標規劃、模糊多準則評估、模糊資料包絡分析、模糊時間序列、模糊類神經網路、模糊邏輯控制等模式。如果研究課題具有「灰色特質」者，例如樣本太少時，則圖 1.2 中的研究方法也可結合灰色理論，例如灰色關聯分析、灰色數學規劃、灰色迴歸分析、灰色預測模型，以及灰色模糊邏輯控制等模式。本書限於篇幅僅各挑選三種結合模糊或灰色之常用模式加以介紹。

最後，要再一次提醒讀者，研究方法的發展十分快速，本書僅介紹基礎模型，讀者在初步了解研究方法後，仍要持續研讀相關文獻，方能確實掌握各該方法之最新發展，提昇研究能量。作者願與所有讀者共勉之。

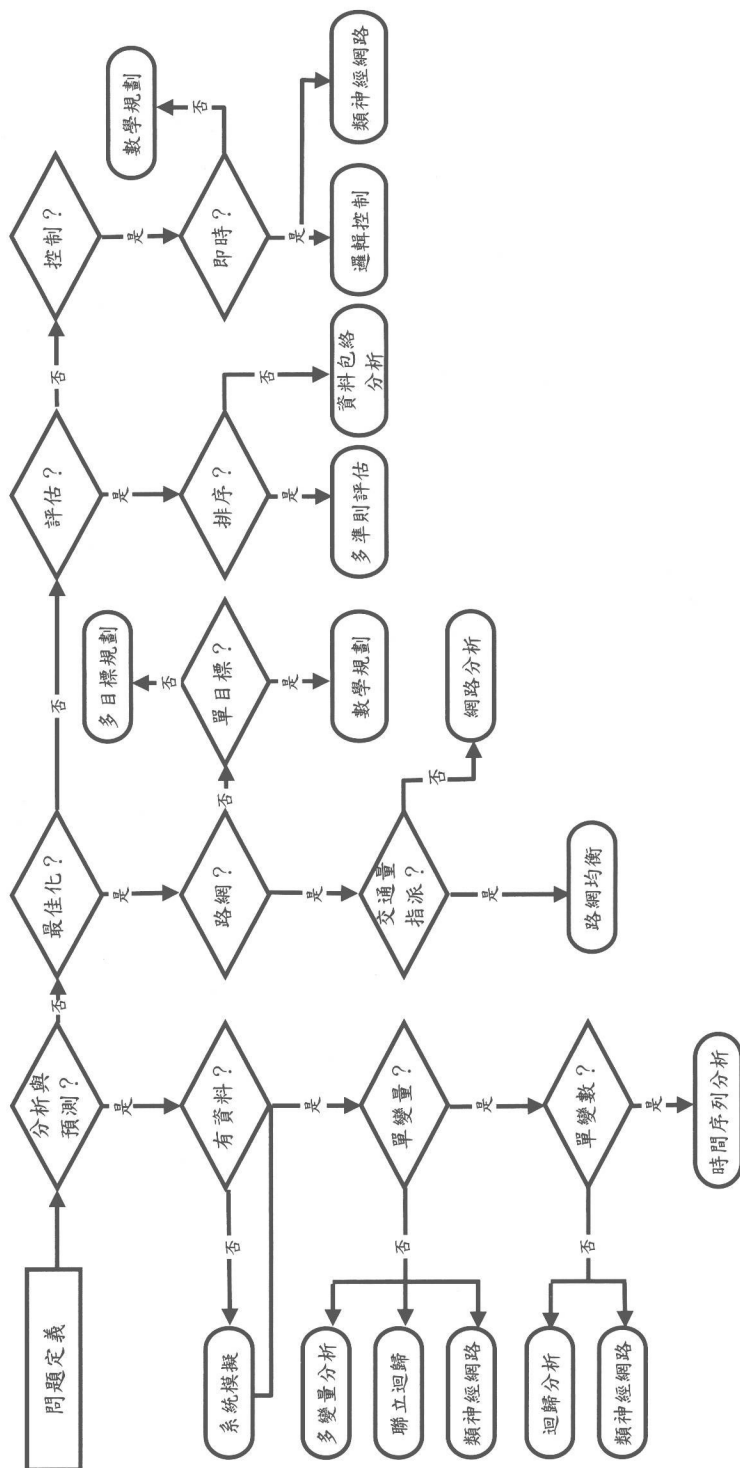


圖 1.2 各類問題之適當研究方法

第二章 統計分析與數學規劃

統計分析與數學規劃是進行運輸與都市分析相關研究的重要工具。如果要透過資料蒐集與分析來了解系統特性或相互關係時，例如，研究者想了解房地產價格與國內經濟狀況或相關政策間之關係，則可利用統計分析方法來進行。當然如果資料蒐集很困難或很花錢，則可利用系統模擬技術來產生樣本資料，供作統計分析之用。但如果是要建立一個最佳化模式，則適合利用數學規劃模式來進行。

統計分析方法可歸屬於實證性 (positive) 的研究方法，其企圖解釋現況 (what it is) 的因果關係；而數學規劃模式可歸屬於規範性 (normative) 的研究方法，其企圖找尋未來應該決策 (what it should be) 的最佳方案。由於目前已有本專書詳細介紹本書中之統計分析與數學規劃方法，故本書僅著重於基本模式之介紹，並將重點放在應用時該注意的事項、發展趨勢及在運輸與都市分析上的應用。

2.1 統計分析 (Statistical Analysis)

2.1.1 線性迴歸分析 (linear regression analysis)

1. 基本特性

線性迴歸分析方法乃計量經濟最常見之方法之一，主要是探討兩個或兩個以上變數之間的關係。迴歸分析的目的在于了解及建立一個因變數 (Y) 與一組自變數 (X) 間的關係。利用迴歸分析我們可以回答以下的問題：

- (1) 能否找出一個線性組合，用以說明一組自變數與一個因變數的關係？
- (2) 如果能的話，此種關係的強度有多大，亦即利用自變數的線性組合來預測因變數的能力有多強？
- (3) 整體解釋關係是否具統計上的顯著性？
- (4) 在解釋因變數的變異方面，那些自變數最為重要；特別是原始模式中的變數數目能否予以減少而仍具有足夠之預測能力？

由一個因變數 Y 及 m 個自變數組成的線性多元迴歸模式可用下式表示：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon \quad (2-1)$$

若有 n 個樣本資料，則可表示成：

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_0 + \beta_1 x_{11} + \beta_2 x_{21} + \dots + \beta_m x_{m1} + \varepsilon_1 \\ \beta_0 + \beta_1 x_{12} + \beta_2 x_{22} + \dots + \beta_m x_{m2} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \beta_0 + \beta_1 x_{1n} + \beta_2 x_{2n} + \dots + \beta_m x_{mn} + \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

如以矩陣來表示，則可改成：

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{m1} \\ 1 & x_{12} & \cdots & x_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$Y = X \cdot \beta + \varepsilon \quad (2-2)$$

$[n \times 1] \quad [n \times (m+1)] \quad [(m+1) \times 1] \quad [n \times 1]$

此一多元迴歸模式 $Y = X \cdot \beta + \varepsilon$ 可用最小平方法來求迴歸係數 β 的數值。最小平方法的目的要找出未知係數的數值，使誤差平方和 (error sum of squares, ESS) 為最小。

$$\text{Min } ESS = \varepsilon^T \cdot \varepsilon = (Y - X\beta)^T \cdot (Y - X\beta) \quad (2-3)$$

其中， ε^T 為 ε 之轉置矩陣。

將上述 (2-3) 式對 β 偏微分，即可得到迴歸係數 β 之估計值 $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$ ，其中， X^T 為 X 之轉置矩陣。

2. 假設前提與應用限制

在應用迴歸分析時必須檢定以下幾項假設：

- (1) 自變數係數之正負號與顯著性符合先驗知識；
- (2) 無線性重合問題；
- (3) 誤差項變異數為同質性；
- (4) 無自我相關現象；
- (5) 誤差項符合常態分配，平均值數 0，變異數為 σ^2 之 $N(0, \sigma^2)$ 。

除了檢定上述假設外，在應用迴歸分析時，亦必須注意函數設定 (specification)、假設檢定 (hypothesis testing) 及預測 (prediction)

的事項，分述如下：

(1) 函數設定

- a. 函數型態為線性或非線性的函數？其函數型態是否有理論的依據？
- b. 因變數與自變數的選取是否具有先驗知識或理論上的因果關係？
- c. 自變數之間是否具彼此獨立的特性？其可由自變數相關矩陣（correlation matrix）發現自變數之間的相關性。
- d. 是否有重要的自變數因欠缺資料而未被納入？是否可能找到替代變數（proxy variable）來替代此重要的自變數。
- e. 因變數或自變數是否存在衡量的誤差（measurement error）？這些衡量誤差之來源為何？是否有可能藉著重新抽樣（re-sampling）來修正它？
- f. 自變數是否須納入虛擬變數（dummy variable）或互動變數（interaction variable）？

(2) 假設檢定

- a. 整體迴歸式（estimated regression）是否顯著？（ F 檢定及 R^2 值）。
- b. 每一個係數的正負符號是否合乎先驗知識的預期（a priori expectation）？
- c. 每一個係數是否顯著？（ t 檢定）
- d. 每一個係數的標準差（standard error）為何？
- e. 是否須加入或刪除一些自變數，並重新檢定上述的結果？

(3)預測

- a.迴歸係數可以在多少時間內 (period) 保持有效 (valid) ?
- b.是否可以用校估的結果對新的地點 (new location) 進行預測?
- c.在預測時,是否某些自變數之數值只在某一範圍內(range)才有效?

3.發展趨勢

迴歸分析是一項十分基礎的分析工具,其參數的求解與檢定均已完整理論,足供依循。新近發展則多結合其他理論,以克服在應用上之限制,例如結合模糊理論,成為模糊迴歸模式(將於 5.2 節介紹),或應用於解析更複雜之系統關係,如聯立迴歸分析(將於 2.1.2 節介紹)、非線性迴歸分析(nonlinear regression)、卜瓦松迴歸(Poisson regression)及負二項迴歸(negative binomial regression)等。其中,非線性迴歸分析適用於因變數與自變數間存在的關係為非線性者,並多以最大概似法(maximum likelihood estimation, MLE)校估之。卜瓦松及負二項迴歸則適用於因變數之分配呈負二項或卜瓦松分配者,大多用於肇事預測與分析(因事故發生次數少,通常非呈常態分配),亦以 MLE 校估。

4.應用領域

(1)運輸分析

線性與非線性迴歸分析在運輸領域之應用十分普遍,主要在於分析資料間之相互關係,並利用檢定以驗證其假說。或利用迴歸分析進行運量預測,例如,預測小汽車持有數量(藍武王等,1991、藍武王等,1995)、機場及航空運量預測(曹勝雄等,1995)、港埠及海運運量預測(藍武王等,1994、顏進儒等,1997、謝幼屏,1998)。至於卜瓦松與負二項迴歸則多用於肇事分析或個體選擇行為,例如,高速公