師大地理研究報告
第15期 民國78年3月
Geographical Research
No.15, March 1989

公共部門多目標投資計畫選擇之研究
—以貨物配送中心爲例—

Public-Sector Investment Project Selection with Multiobjective Programming: An Example of Goods Distribution Center

鄧振源[*1] 馮正民[*2] 曾國雄[*3]
Junn-yuan Teng Cheng-min Feng Gwo-hshiung Tzeng

Abstract

Numerous quantitative models for project selection have been developed in recent twenty year. Of these models, the involement of multiple objectives to select projects is a common trend. The problem of selecting investment projects can generally be decomposed into two stages: first to select a set of projects which can achieve a given multiple objectives from all feasible candidate projects, and secondly to schedule those chosen projects.

In this paper, a max-min multiobjective integer programming model is discussed and a numerical example of goods distribution center is illustrated for this model. The optimal set of projects achieving the given objectives over the planning period will be selected from the model. Two spatial methods and their solution algorithms, primal spatial method and dual spatial method for solving multi-objective integer programming. In the max-min integer programming, a benefit-cost ratio is used as an important index to determine the efficiency of project selection, subject to some resource constraints. The numerical example of goods distribution center suggests that the same four projects are selected from eight investment projects by two spatial methods.

(Key words: project selection, multiobjective integer programming, primal spatial method, dual spatial method, efficiency index, goods distribution center.

*1. 國立交通大學交通運輸研究所博士班研究生
(Graduate Student, Doctor Course, Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University)

*2. 國立交通大學交通運輸研究所副教授
(Associate Professor, Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University)

*3. 國立台灣師範大學地理研究所兼任教授；國立交通大學交通運輸研究所教授。
(Part-time Professor, Institute of Geography, National Taiwan Normal University; Professor; Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University).

一、前　言

在過去二十年以來，已有許多專案計畫之選擇模式被發展出來。在專案計畫選擇模式之演進過程中，有許多是複雜的數學理論，同時其有效程度已獲得證明[47]。在這些量化理論之概念中，均包含一共通之特性，即專案計畫之選擇乃在多目標（Multiple Objectives）限制下進行，這些目標可分別從財政、經濟、社會及政治方面加以考量。

構建公共部門投資計畫之複雜工作，可分解成二個階段之問題；第一階段爲決策者（Decision Maker）需從一組可行之替選投資計畫（Feasible Candidate Projects）中，選出在計畫期間內可達成明訂目標之部分投資計畫；第二階段則需將選出之投資計畫加以安排時序（Scheduling），並確認其相互間之關係與現有資源之限制。0—1型整數規劃（Integer Programming）問題，在數學規劃上稱爲背包問題（Knapsack Problem），自從1957年Dontzing氏[15]提出以來，其應用甚爲廣泛；70年代後亦開始應用在專案計畫之選擇問題上[23]。

公共部門投資計畫之選擇問題，應用0—1整數規劃法時，可利用完全列舉法求取最適解，惟當問題規模變大時，其組合數急速增加，計算量變得龐大。在投資計畫等實際問題中，因常包含構成問題原始資料之各種測定誤差，實務應用上並不需要以嚴密之計算以求得最適解，而期望能用簡單之計算，但能得到相當精確之近似解法，同時計算結果又能分別將投資計畫之優先順序列出，以利於投資計畫之時程安排，另外對條件變更時易於進行敏感性分析（Sensitivity Analysis）。

爲達到上述之優點，可採取啓發式（Heuristic）之近似解法。在背包問題中，Weingartner氏與Ness氏[50]結合動態規劃法（Dynamic Programming）與啓發式法，而發展出新解法；Cabot氏[11]則利用Fourier-Motzkin消去法之列舉方法（Enumeration Method）求解；Plane氏等[36]應用隱含列舉法（Implicit Enumeration Method），導出反覆求解線性子問題之方法；福川忠昭等[2]應用空間法（Spatial Method），進行專案計畫之選擇；豐田吉顯等[4]則以有效斜率法（Effective Graident Method），處理多限制背包問題。

本文應用Max-Min型之多目標整數規劃（Mutiobjective Integer Programming），進行投資計畫選擇問題之探討；同時應用主空間法（Primal Spatial Method）與對偶空間法（Dual Spatial Method），利用利益率（Benefit-Cost Ratio）作爲效率指標（Efficiency Index），以求得現實問題中有效之近似解。本文除對專案計

畫選擇問題之研究加以回顧外，並對空間法求解程序加以介紹，最後則以貨物配送中心之投資問題作爲應用例，探討多目標投資計畫之選擇問題。

二、投資計畫選擇問題之回顧

投資計畫（Projects）的選擇，常受到各種質化與量化因素之影響；這些因素可根據特定方法加以組合，使綜合成單一之評估值，從而可求取投資計畫之優先順序。投資計畫之選擇與評估，常基於經濟與社會之成本效益分析（Benefit-Cost Analysis），將質化與量化因素納入考量[21]。

Souder 氏[45]在其回顧性之論文中，探討八種不同的專案計畫評估模式，即指標模式（Index Models）、投資組合模式（Portfolio Models）、決策理論模式（Decision Theory Models）、風險分析模式（Risk Analysis Models）、開拓模式（Frontier Models）、評點模式（Scoring Models）、剖面模式（Profile Models）及檢核表（Checklists）等。Schwartz 氏與 Vertinsky 氏[41]則將個人偏好（Preference）納入投資機會（Investment Opportunities）中，以探討投資計畫之選擇過程。Cook 氏與 Seiford 氏[14]從實務觀點將某些權宜替代（Tradeoffs）納入，以探討研究發展（Research and Development；R & D）專案計畫之選擇。Silverman 氏[43]基於評點與經驗之專案計畫評估，發展出專案計畫評估法（Project Appraisal Methodology；PAM），此種方法是一種概念性的而不是一種模式化的，此法同時可進行敏感度分析。

Balachandra 氏與 Raelin 氏[6]建議利用判別分析（Discriminant Analysis）區別那些專案計畫應繼續執行，那些專案計畫應該結束。Glazebrook 氏[19,20]則發展出「替選研究專案計畫」（Alternative Research Projects）之排序法。Jackson 氏[25,26]則彙總各種決策方法，用以評估與選擇專案計畫。Tang 氏等[46]利用量化方法，從更廣濶之社經方面，評估開發中國家工業投資計畫；其量化方法主要利用成本效益分析評估經濟因素，及利用偏好理論評估主要因素，並建立每一替選計畫貢獻度之評量方式，同時可進行敏感度分析以提供決策者進行投資決策之輔助。

Martel 氏與 Avignon 氏[38]根據 m 個評準（Criteria）進行專案計畫之評估，其目的乃在具有 n 個專案計畫之集合 A 中，選擇最好的計畫；每一個專案計畫 $P(i)$ 分別由一群專家評估，每一專家在每一評準下分別給與一個評估值；不同的專家所給的績效水準不同；因此在每一評準下，可得到每一專案計畫之預期績效分配，最後可對專案計畫加以排序。Bhattacharya 氏[8]、Constantinides 氏[13]及 De 氏等[16]，則應用

風險評估方式，將專案計畫之期望效益換算成貨幣單位，而將資金流向及其風險性納入考慮，並換算成淨現值（ Net Present Value ），再以此作爲評準進行評量；風險之處理方式，包括確定性方法（ Deterministic Approach ）與機率性方法（ Probabilistic Approach ）。

Goldwerger 氏與 Paroush 氏[22]，應用整數規劃模式（ Integer Programming Model ）進行專案計畫之評估，其基本決策變數不是專案計畫，而是專案計畫之組合，稱爲一項作業（ Activity ）。決策者之效用函數（ Utility Function ），乃依作業特性而定，而非依全部之作業來決定。有關此作業分析法（ The Activity Analysis Approach ） 之優點爲：(1)主觀與客觀加以區分，能提供更有用之資訊給決策者，因而能區別有效的與最適的專案計畫；(2)掌握專案計畫間之相互關係，得以從有效性考慮，而僅非從可行之限制內探討。

Erlenkotter 氏與 Rogers 氏[18]發展出一套尋找最小總折扣作業成本（ Total Discounted Operating Cost ）與投資成本（ Investment Cost ）之方法，其中作業成本一般爲連續之時間函數，即專案計畫與時間具有競爭性；顯示需使用最適化模式如多區位配送問題（ Multilocation Distribution Problem ），以求得作業之決策。Ginzberg 氏[21]提出各種實務評量之優點 ，並對專案計畫選擇資訊系統，建議若干可行之改善方法。 Carter 氏[12]以類似方法，進行商業專案計畫之選擇。

Winkofsky 氏等[51]應用 0－1 目標規劃模式（ Goal Programming Model ） ，加入決策過程架構之模擬模式（ Simulation Model ）中，以找出最適專案計畫。Keown 氏等[32]應用 0－1 目標規劃模式，在各種資源限制與不同標準之評準下，直接進行專案計畫之選擇。這些目標規劃模式及其他許多量化方法，均包命固定之資源使用水準，相對地也選擇到固定水準之專案計畫；主要因專案計畫之輸出與資源使用間，以線性方式處理之故。Keefer 氏[27]則發展出非線性之模式 ，將期望之資源使用結合專案計畫所需達成之任務，以處理不同水準之預算分配（ Budget Allocation ）問題。Taylor 氏等[47]亦應用非線性之整數目標規劃模式， 以處理研究發展計畫之選擇及研究人員之分配問題；模式中包括專案計畫選擇及研究人員數之決策變數，研究人員之分配與專案計畫之選擇，受制於許多線性與非線性之目標限制條件；線性目標限制條件爲預算限制、計算容量之使用及其他各種嚴格條件；非線性目標限制條件爲專案計畫成功之機率、期望報酬及研究人員分配至專案計畫完成之時間等。

Lee 氏與 Lerro 氏[33]、Hawkins 氏與 Adams 氏[24]及 Taylor 氏[45]等，以多目標（ Multiple Objectives ）方式進行資本計畫選擇之研究，並應用目標規劃法求解。 Sfeir-Younis 氏[42]、 Leinback 氏與 Cromley 氏[34]、Drake 氏[17]及 Benjamin 氏[7]等 ，則

應用目標規劃法進行公共部門投資計畫選擇之研究。Turner 氏[48] 利用多次元尺度法（Multidimensional Scaling Method）進行公共部門投資計畫之選擇。

專案計畫之選擇問題，已有許多研究應用多屬性效用理論（Multiattribute Utility Theory）進行分析[44]。Mehrez 氏等[36]對 Ben-Gurion 大學機械工程系之 R & D 實驗室，進行有相互關係 R & D 計畫之選擇研究，並利用「獲利性」、「技術發展」及「群體適合性」等三個屬性（Attributes）評估。Mehrez 氏與 Sinuany-Stern 氏[37]從事以色列（Israel）自來水發展投資計畫選擇之研究，並利用「增加水資源」、「增加儲存空間與自來水供應之可靠度」、「環境品質」及「能源節省」等四個屬性進行評估。Lugassi 氏等[35]則對以色列核能電廠，進行最適區位選擇之研究，經由初步篩選共得到七個可設廠地區，最後利用「人口統計」、「地理特性」、「水文」、「生態」、「民意」、「成本」、「國家觀點」及「策略目標」等八個屬性進行評估。Keeney 氏 [28,31] 利用構建目標階層結構（Objective Hierarchy Structure）之觀念，在效用獨立（Utility Independence）與偏好獨立（Preference Independence）之假設下，構建多屬性效用函數（Multiattribute Utility Function）；同時，Keeney 氏[28]亦有證明，多屬性效用函數可用加法型（Additive）或乘法型（Multiplicative），將單屬性效用加以結合。Ahmed 氏等[5]亦利用階層結構之觀念，進行核能廠區位選擇之研究。Keeney 氏與 Nair 氏[30]利用六個屬性，在九個可能區位下，以多屬性效用理論進行核能電廠設置區位選擇之研究。

優勢關係評估法（Outranking Method）爲多評準決策（Multicriteria Decision Making；MCDM）領域之一，近年來亦應用於投資計畫之選擇[49]。Roy 氏與 Bouyssou 氏[39]利用 ELECTRE Ⅲ（Elimination Et（and）Choice Translating REality）評估模式，進行核能電廠區位之選擇，並與 Keeney 氏[30]之方法相比較。Brans 氏等[9]則用 PROMETHEE 法（Preference Ranking Organization METhods for Enrichment Evaluations）進行水力發電廠區位選擇之研究，包括六個評準與六個投資計畫。Roy 氏等[40]應用 ELECTRE Ⅲ 模式，進行巴黎（Paris）地下鐵車站更新計畫之選擇，利用七個評準對 224 個車站進行評估。

三、Max-Min型多目標投資計畫之解法

運輸部門決策問題之一，即在多項資源限制下，選擇多數個目標能同時達成之投資計畫問題。對於多目標整數規劃問題之最適化，Bitran 氏[10]及 Zionts 氏[52]等曾加以探討；當決策變數增加時，可能組合亦相對地增加，計算量相當龐大。在實務應用

上，並不需要以嚴密之計算求取精確之解，只要用簡單之計算得到相當精確之近似解即可。

(一)多目標投資問題概觀

本文探討能使多數個目標同時達成爲目的，利用空間法之近似解法，並使用最差目標值最大化之Max -Min 型多目標規劃。當進行投資計畫之選擇時，以利益率作爲效率指標，並作爲選擇之判定基準；以單一資源（資金）與單一目標（收益）而言，利益率爲

$$r_i = c_i / a_i \tag{1}$$

其中 r_i ：i 投資計畫之利益率。

c_i ：i 投資計畫所能獲得之收益。

a_i ：i 投資計畫所需投入之資金。

在多目標與多資源限制下，亦從單目標單一資源限制之問題加以擴張。在資源限制部分，利用某種純量將多數個資源限制使用量予以一元化；在目標函數方面，亦將多數個目標達成值一元化；將目標一元化值除以資源一元化值，即可得到效率指標，作爲投資計畫選擇之基礎。

有關Max -Min 型多目標整數規劃問題，可寫成如下之數學式：

目標函數 $$\max \left\{ \min_{j=1,2,\cdots,r} \left[\left(\sum_{i=1}^{n} c_{ji} x_i \right) / w_j \right] \right\} \tag{2}$$

限制條件 $$\sum_{i=1}^{n} a_{ki} x_i \le b_k \ , \ k = 1 \ , \ 2 \ , \cdots , \ q \tag{3}$$

$$x_i = \begin{cases} 1 \cdots\cdots\cdots\cdots \text{選　擇} \\ 0 \cdots\cdots\cdots\cdots \text{不選擇} \end{cases} , \ i = 1 \ , \ 2 \ , \cdots , \ n$$

其中 j ：目標式，共有 r 個目標。

c_{ji} ：i 投資計畫在目標 j 之達成值，r 個目標之達成值以 G_i 表示

即 $$G_i = (c_{1i} , c_{2i} , \cdots , c_{ji} , \cdots , c_{ri}) \ge 0 \tag{5}$$

a_{ki} ：i 投資計畫需資源 k 之量

b_k ：k 資源所能利用之量，共有 q 個資源。

x_i ：i 投資計畫選擇與否（若選擇則爲 1 ，不選擇則爲 0 ），共有 n 個投資計畫。

ω ：目標向量之單位向量（ Unit Vector ），可視爲目標之權重（ Weight ），即

$$\omega = (\omega_1 , \omega_2 , \cdots , \omega_j , \cdots , \omega_r) \ge 0 \tag{6}$$

W：目標增加方向之向量（目標向量），即

$$W = (W_1, W_2, \cdots, W_j, \cdots, W_r) \geq 0 \tag{7}$$

空間法乃利用向量在限制空間與目標空間上，表示各投資計畫之方向。已選取投資計畫之集合，計算其向量方向；未選取之投資計畫，在已選取投資計畫之向量方向下，求取與該向量之內積（Dot）值；再將未選取投資計畫之目標值除以該內積值，即可得到未選取投資計畫之效率指標，依效率指標之大小順序，選擇有利之投資計畫。在說明具體選擇方法之前，首先定義以下之符號：

I_t：第 t 次反覆（Iteration）所選取投資計畫之集合。

A_t：第 t 次反覆可供選擇之投資計畫之集合。

F_t：第 t 次反覆可能被選取投資計畫之集合。

P_i：資源限制空間內，投資計畫 i 之向量表現，即

$$P_i = (a_{1i}, a_{2i}, \cdots, a_{ki}, \cdots, a_{qi}) \geq 0 \tag{8}$$

R_k^t：第 t 次反覆時，所選取投資計畫對 k 資源之使用量，即

$$R_k^t : \sum_{i \in I_t} a_{ki} \tag{9}$$

R^t：第 t 次反覆時，I_t 集合所含投資計畫之向量表現，即

$$R^t = \sum_{i \in I_t} P_i = (R_1^t, R_2^t, \cdots, R_k^t, \cdots, R_q^t) \tag{10}$$

L_k：第 k 資源限制軸。資源限制空間即由 $L_1, L_2, \cdots, L_q$ 等軸所構成之正交（Orthogonal）座標空間。其中 $L_k \leq b_k$ 之領域稱爲「可能領域」，而 $R_k^t \leq L_k \leq b_k$ 之領域稱爲「剩餘領域」。

M_t：第 t 次反覆時，限制式滿足資源限制條件之集合。

$\overline{M}_t$：第 t 次反覆時，限制式不滿足資源限制條件之集合。

G_j^t：第 t 次反覆時，所選取投資計畫對目標 j 之達成值，即

$$G_j^t = \sum_{i \in I_t} c_{ji} \tag{11}$$

G^t：第 t 次反覆時，I_t 集合所含投資計畫對目標達成之向量表現，即

$$G^t = \sum_{i \in I_t} G_i = (G_1^t, G_2^t, \cdots, G_j^t, \cdots, G_r^t) \tag{12}$$

各資源限制條件進行標準化（Normalization）時，即將(3)式中限制式之兩邊各除以 b_k，而得到與原問題相等之問題。即

$$a'_{ki} = a_{ki} / b_k, \ \forall k \tag{13}$$

則資源限制空間內 i 投資計畫之向量如下所示：

$$P'_i = (a'_{1i}, a'_{2i}, \cdots, a'_{ki}, \cdots, a'_{qi}) \tag{14}$$

而(10)式可寫成如下所示：

$$R'^{t} = \sum_{i \in I_t} P'_i = (R'^{t}_1 , R'^{t}_2 , \cdots , R'^{t}_h , \cdots , R'^{t}_q) \tag{15}$$

各目標式之達成值亦可以下式之方式進行標準化，即

$$c'_{ji} = c_{ji} \Big/ \sum_{i=1}^{n} c_{ji} \ , \forall j \tag{16}$$

因此，目標達成值 G_i 成為

$$G'_i = (c'_{1i} , c'_{2i} , \cdots , c'_{ji} , \cdots , c'_{ri}) \tag{17}$$

同時，(11)式與(12)式可分別寫成如下所示：

$$G'^{t}_j = \sum_{i \in I_t} c'_{ji} \tag{18}$$

$$G'^{t} = \sum_{i \in I_t} G'_i = (G'^{t}_1 , G'^{t}_2 , \cdots , G'^{t}_j , \cdots , G'^{t}_r) \tag{19}$$

開始階段（ $t = 1$ 時），由於 $I_1 = \phi$ ，則 $R'^{1}_1 = 0$ ，表示已將資源完全使用殆盡，事實上資源仍未使用，受到此一限制之故，而以 $R'^{1}_1 = 1$ 取代，表示資源可被完全使用。

(二)主空間法之理論概念

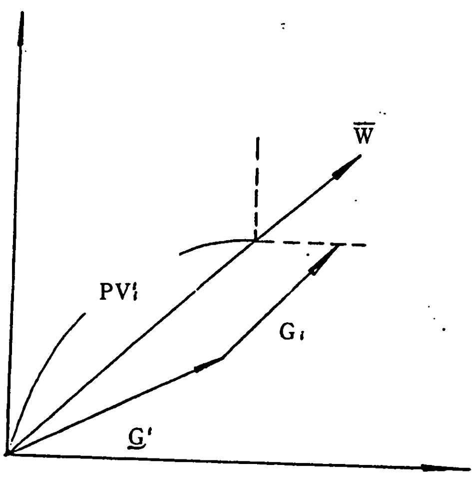

圖 1. 主空間法目標之一元化

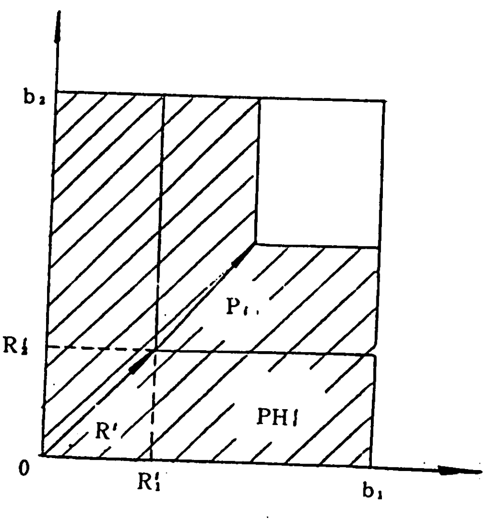

圖 2. 主空間法限制條件之一元化

主空間法又稱為空間前進法，以「獲得之利益為最大」着眼。在 q 個資源限制空間下，依效率指標之大小，依次選擇投資計畫。以 $q = 2$ 而言，主空間法即在求取效率指標方向之面積（如圖 1 ）； $q = 3$ 時，即在求取體積。

對於目標一元化指標值 PV'_i 及限制條件一元化指標值 PH'_i ，分別定義如下：

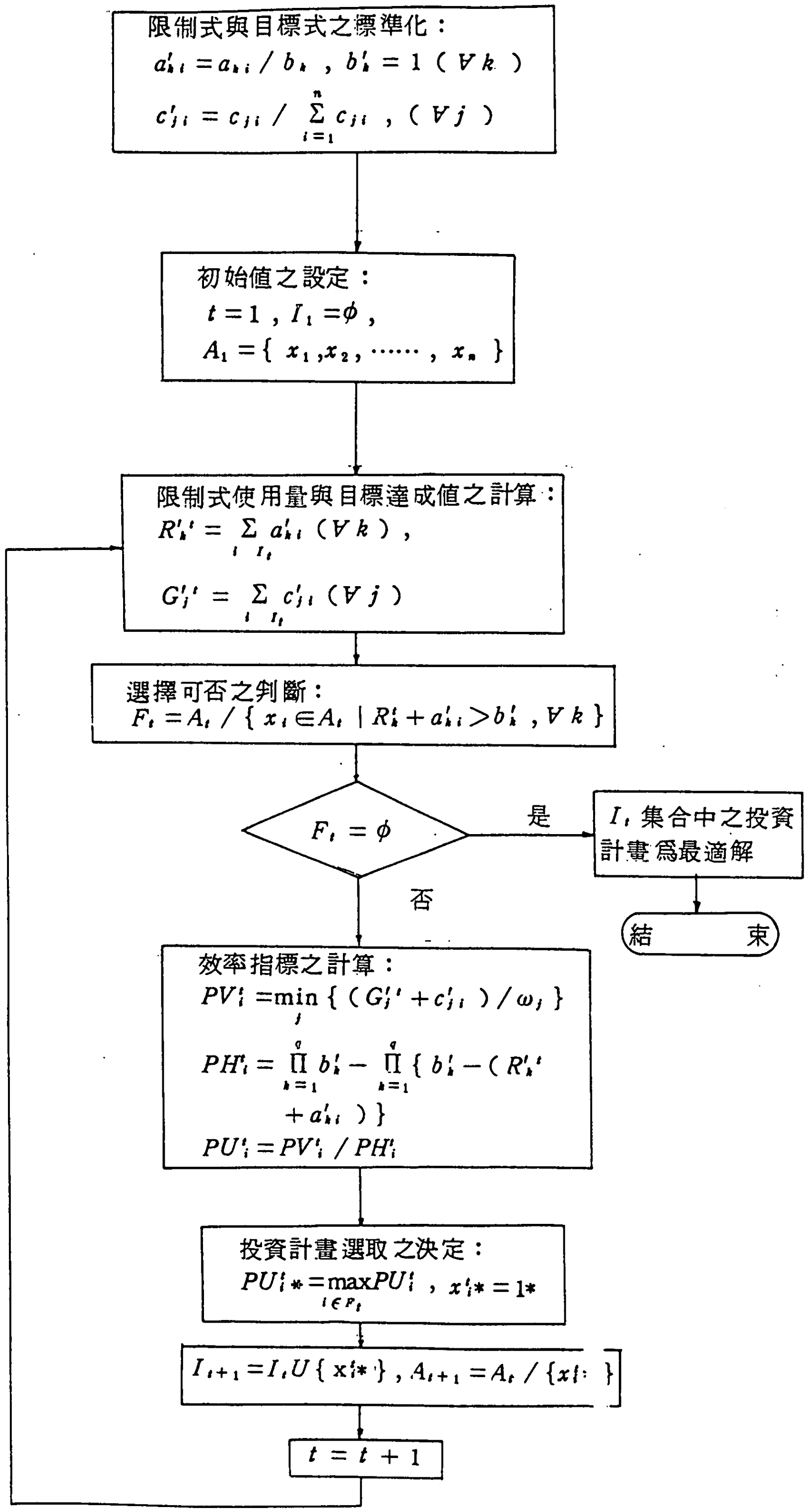

圖 3.　主空間法多目標投資計畫選擇之流程

$$PV_i^t = \min_j \{ (G'^t_j + c^t_{ji}) / \omega_j \} \tag{20}$$

$$PH_i^t = \prod_{k=1}^{q} b_k^t - \prod_{k=1}^{q} \{ b_k^t - (R'^t_k + a^t_{ki}) \} \tag{21}$$

二個目標與二個限制條件之情形，分別如圖 1 與圖 2 所示。在圖 1 中，PV_i^t為目標向量上所對應之長度；在圖 3 中，PH_i^t 則為限制平面上所對應之面積（斜線部分）。

若以利益率作為效率指標時，則多目標綜合之利益PV_i^t，除以限制條件之實質資源使用量 PH_i^t ，即可得到第 t 次反覆中 i 投資計畫之效率指標PU_i^t ：

$$PU_i^t = PV_i^t / PH_i^t \tag{22}$$

選擇時依 PU_i^t 值之大小作為判定基準，將最大之PU_i^{t*}值所對應之 x_i^{t*} 投資計畫，作為第 t 次反覆時所選取之投資計畫。

$$PU_i^{t*} = \max_{i \in F_t} PU_i^t \ , \ x_i^{t*} = 1 \tag{23}$$

有關多目標整數規劃法，利用主空間法之選擇流程，如圖 3 所示。

(三)對偶空間法之理論概念

對偶空間法又稱為空間後退法，以「損失之利益為最小」着眼。對偶空間法對於目標一元化指標值DV_i^t ，及限制條件一元化指標值DH_i^t ，分別定義如下：

$$DV_i^t = \min_j \{ (\sum_{i=1}^{n} c^t_{ji}) / \omega_j \} - \min_j \{ (G^{\prime t}_j - c^t_{ji}) / \omega_j \} \tag{24}$$

$$DH_i^t = \prod_{k \in M_t} \{ \sum_{i=1}^{n} a^t_{ki} - (R'^t_k - a^t_{ki}) \} \tag{25}$$

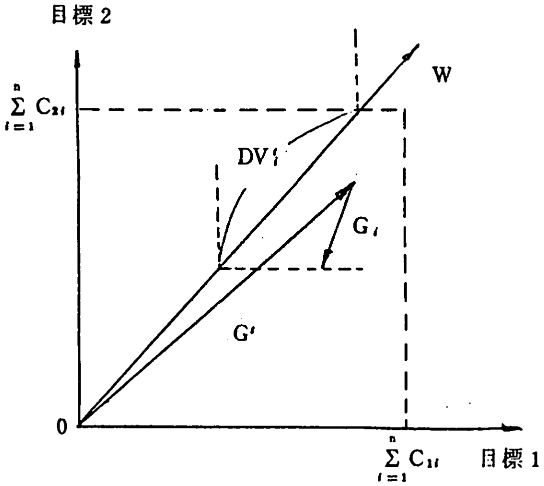

圖 4. 對偶空間法目標之一元化

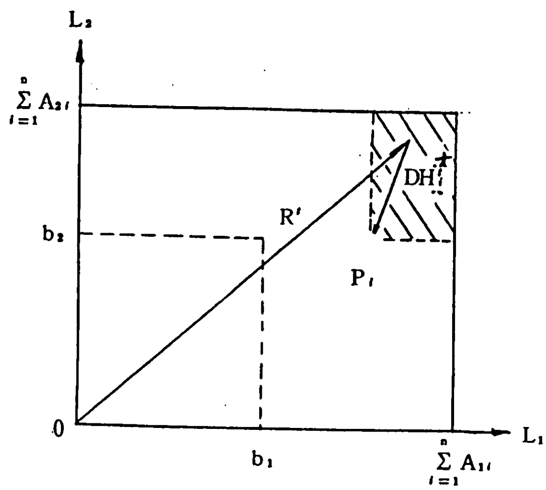

圖 5. 對偶空間法限制條件之一元化

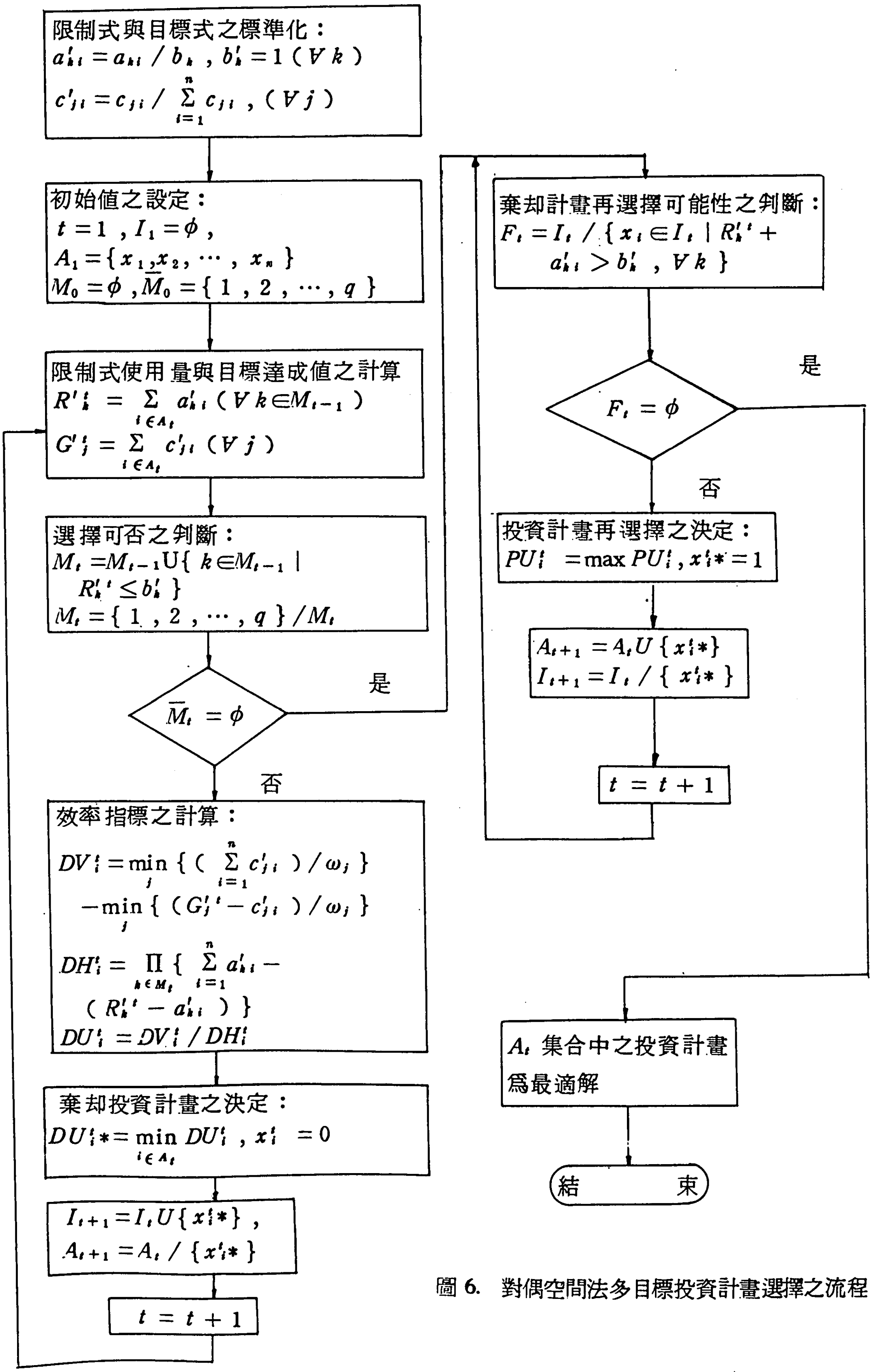

圖 6. 對偶空間法多目標投資計畫選擇之流程

二個目標二個限制條件之情形，分別如圖4與圖5所示。其中G^t爲全部投資計畫均執行時，r個目標之獲利方向；W爲r個目標之目標向量；G_i爲i投資計畫利益減少方向（向原點方向退後），而其在W上之投影（DV_i^t）即代表i投資計畫在r個目標之獲益。同理在限制條件方面，R^t爲全部投資計畫均執行時，在限制空間之向量方向；P_i爲i投資計畫使用資源之量，由於投資計畫之損失要最小，表示向可能領域後退之面積要大，該投資計畫才予以保留，即視DH_i^t之值而決定投資計畫之棄却（Reject）與否。

對偶空間法之效率指標依下式求取，即

$$DU_i^t = DV_i^t \,/\, DH_i^t \tag{26}$$

其中DU_i^t爲第t次反覆時，i投資計畫之效率指標。判定之基準，以最小效率指標值DU_i^{t*}之投資計畫x_i^{t*}，作爲第t次反覆時所棄却之投資計畫。

$$DU_i^{t*} = \min_{i \quad A_t} DU_i^t \;,\; x_i^{t*} = 0 \tag{27}$$

有關多目標整數規劃法，利用對偶空間法之選擇流程，如圖6所示。

四、貨物配送中心投資計畫之應用

現代化貨物儲運系統乃達成貨物流通之合理化，因此「硬體」（Hardware）與「軟體」（Software）之建設必須相互配合。硬體之效率化，包括設置適當之配送中心（Distribution Center）與自動倉庫，包裝、裝卸及搬運等機械設備之自動化，以及電腦之導入應用等。軟體之效率化，主要爲活用硬體設備，構成效率化貨物流通系統之組合，如配送中心區位決定、配送路線規劃、運具選擇及運輸資訊化等。其中又以設置配送中心之投資最爲龐大，主要因配送中心具有貨車停駐、貨物集散、轉運、分類、調節產銷及產品加工組合等功能，亦即需將自動化倉儲、機械化搬運及資訊化管理等相結合之投資。因此，在已知配送中心區位下，如何在有限資源下決定其投資方向，已爲政府或企業經營決策問題之一。

(一)貨物配送中心投資問題

都會區爲人文會萃、商業熱絡及交通頻繁之地區，隨著經濟之發展與人口之集中，產生通勤交通困難、道路交通阻塞及生活品質惡化等負面影響。在提高都會區交通安全性、便利性及生活環境品質下，常對貨物運輸之運行時間與路線加以限制。因此，都會區雖是貨物運輸之樞紐地區，亦爲貨物運輸之瓶頸地帶。

政府爲解決都會區貨物運輸問題，擬籌建都會區貨物配送中心，作爲貨物存放、加工、裝配及貨車轉運之場所。經由區位問題（Location Problem）之研究後，需

興建八處貨物配送中心，由於每一配送中心受投資興建所需資金，能夠提供之土地面積及所能提供專業服務人才等資源之限制，無法全部都興建，必須從中選取有利之配送中心加以投資興建。設若考慮二個目標，一爲配送中心興建營運後之十年內，平均每年之營業收益；另一則爲配送中心興建後，平均每月可減少路邊裝卸貨次數。此即爲多目標規劃問題，八個配送中心投資計畫之相關資料，如表1所示：

表 1. 貨物配送中心多目標投資問題

項目 \ 投資計畫	限制條件			目標	
	所需資金（億元）	土地面積（公頃）	專業人才（人）	收益性（億元／年）	減少貨車路邊裝卸貨（次／月）
P_1	31	54	120	34	1,024
P_2	24	48	90	32	768
P_3	25	30	80	35	672
P_4	30	50	160	28	1,200
P_5	16	40	60	18	544
P_6	20	60	70	31	624
P_7	12	36	50	12	440
P_8	32	42	180	40	1,168
合計	190	360	810	230	6,440
限制	120	250	570		

註：P_1，P_2，…，P_8 爲投資計畫之代號。

上述多目標投資計畫選擇問題，可應用Max-Min 型多目標整數規劃法分析，並利用主空間法與對偶空間法求解，以下將就此二種方法所得到的結果加以分析。

(二)主空間法求解

根據圖3.之求解流程，計算各貨物配送中心投資計畫，在每一反覆中之效率指標，再選取效率指標值爲最大之投資計畫。爲使兩個目標達成值都能同時增加，目標向量之權重相同，即$W=(W_1, W_2)=(1, 1)$，而其單位向量爲$\omega=(\omega_1, \omega_2)$

$=(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})=(0.707, 0.707)$。

在「所需資金」、「土地面積」及「專業人才」之限制條件下，要達到「收益性」與「減少貨車路邊裝卸貨」二個目標最大化下，以Max-Min 型多目標規劃方式進行分析。即每一目標均有其最小目標達成值，而此二個目標達成值之最大者選取。依Max-Min 型多目標整數規劃之主空間法求解後，共選取 4 個貨物配送中心投資計畫，即（ P_1, P_2, P_4, P_8 ）；總計所需資金 117 億元，所需土地面積 194公頃，所需專業人才 550 人（如表 2 所示）。此 4 處貨物配送中心興建完成營運後，平均每年可獲益 134 億元；平均每月可減少貨車路邊裝卸貨 4,160 次。

(三)對偶空間法求解

根據圖 6 之求解流程，在每一次反覆中，將效率指標值最小之投資計畫棄却，最後再從棄却之投資計畫中，檢查是否仍有滿足限制條件之投資計畫，如有則再選取。

表 2. 多目標規劃主空間法求解之結果

投資計畫 \ 反覆	1	2	3	4
P_1	0.194	0.265		
P_2	0.184	0.174	0.337	
P_3	0.185	0.161	0.328	0.389
P_4	0.151	0.238	0.320	0.421
P_5	0.158	0.232	0.300	0.377
P_6	0.155	0.243	0.322	0.385
P_7	0.125	0.216	0.284	0.367
P_8	0.211			
R'_1	0.267	0.525	0.733	0.983
R'_2	0.168	0.384	0.504	0.704
R'_3	0.316	0.527	0.667	0.948
G'_1	0.174	0.322	0.461	0.583
G'_2	0.181	0.340	0.459	0.645

註：選出投資計畫依序爲 P_8 , P_1 , P_2 , P_4 。

表 3. 多目標規劃對偶空間法求解之結果

投資計畫 \ 反覆	1	2	3	4
P_1	0.114	0.166	0.220	0.440
P_2	0.099	0.138	0.205	0.363
P_3	0.107	0.147	0.193	0.346
P_4	0.134	0.188	0.201	0.448
P_5	0.059	0.108		
P_6	0.095	0.135	0.189	
P_7	0.048			
P_8	0.130	0.185	0.244	0.526
R'_1	1.483	1.350	1.183	0.975
R'_2	1.296	1.136	0.896	0.896
R'_3	1.333	1.228	1.105	0.965
G'_1	0.948	0.870	0.735	0.583
G'_2	0.932	0.847	0.750	0.645

註：依序棄却投資計畫 P_7 ，P_5 ，P_6 及 P_3 ；亦卽選取投資計畫 P_1 ，P_2 ，P_4 及 P_8 。

利用對偶空間法求解，經 4 次反覆計算後，共棄却四個貨物配送中心投資計畫，卽 P_7 ，P_5 ，P_6 及 P_3 。換言之，卽選取 P_1 ，P_2 ，P_4 及 P_8 四個投資計畫；所需資金、土地面積及專業人才，分別爲 117 億元、194 公頃及 550 人 ；興建完成營運後，平均每年可收益 134 億元，平均每月可減少貨車路邊裝卸貨 4,160 次；此一結果與主空間法求解之結果相同。有關對偶空間法求解之結果，如表 3 所示。

五、結　　論

本文以多目標整數規劃法進行投資計畫之選擇，更能符合實際規劃狀況。同時以

最差目標達成值最大化，及各目標達成值能同時增加之方式，構建Max-Min 型多目標整數規劃數學模式；在實際應用時，需考慮決策者之偏好，以決定目標向量上各目標之權重值。

貨物配送中心投資興建計畫，是一項規模較大且影響深遠之公共部門投資問題。對於此類問題應用「空間法」求解，以選取有利之投資計畫，可保證獲得令人滿意之精確度〔1.，2.，3.〕。在實務應用上，由於投資計畫所需資源與目標達成值均爲估計值，本身已含有估計誤差在內，以最密之計算求得高精確度之最適解，實無必要。空間法之近似解法，利用效率指標之觀念，在計算上非常方便，且能將投資計畫之優先順序列出；若限制條件同時以某一變化率增加或減少時，容易進行敏感度分析。

空間法應用於多目標整數規劃之求解，除公共部門投資計畫之選擇外，尚可應用於公司實際訂貨選擇問題，在實務應用上不失爲一有效之規劃與分析工具。

参考文獻

1. 福川忠昭，山口俊和，山梨哲哉（1979）「プロジェクトの選擇問題に對するヒューリスティック・アプローチ」，日本經營工學會誌，30(1),37-42。
2. 福川忠昭，山口俊和，奈良雅子（1985）「マックスミニ型効用關數をもつプロジエクト選擇問題に對する近似解法」，オペレーションズ・リサーチ 30(3),392-396。
3. 豐田吉顯（1973）「受注選擇における候補注文の評價法」，日本經營工學會誌，No.54,34-37。
4. 豐田吉顯（1987）「プロジェクト選擇と有効勾配法」，オペレーションス・リサーチ 32(2),329-334。
5. Ahmed, Husseing & Cho, (1979). "A Formal Methodology for Acceptability Analysis of Alternative Sites for Nuclear Power Stations", Nuclear Engng. Design, 51, 361-388.
6. Balachandra & Raelin, (1980). "How to Decide when to Abandon a Project", Res. Mgmt., 23, 24-29.
7. Benjamin, (1985). "A Linear Goal-Programming Model for Publi-Sector Project Selection", J. Opl. Res. Soc., 36(1), 13-23.
8. Bhattacharya (1978). "Project Valuation with Mean-Reverting Cash Flow Streams", J. Fin., 33, 1317-1331.
9. Brans, Vincke & Mareschal (1986). "How to Select and How to Rank Projects: the PROMETHEE Method", Eur. J. Opl. Resh., 24, 228-238.
10. Bitran (1977). "Linear Multiple Objective Programs with 0-1 Variables", Mathematical Programming, 13(2), 121-139.

11. Cabot (1970). "An Enumeration Algorithm for Knapsack Problems", Opns. Res., 18, 306-311.
12. Carter (1982). "Evaluating Commercial Projects", Res. Mgmt., 25, 263-30.
13. Constantinides (1978). "Market Risk Adjustment in Project Valuation"' J. Fin., 33, 603-616.
14. Cook & Seiford (1982). "R&D Project Select in a Multidimensional Environment: A Practical Approach", J. Opl. Res. Soc., 30, 1103-1108.
15. Dantzig (1957). "Discrete-Variable Extremum Problems", Opns. Res., 5(2), 266-277.
16. De, et al. (1981). "Estimation of Mean and Variance of Net Present Value with Certain and Uncertain Project Life: A Multiperiod CAPM Approach", Eur. J. Opl. Res., 8, 363-368.
17. Drake & Joiner (1983). "Government Planning and Budgeting with Multiple Objective Models", Omega, 11, 57-66.
18. Erlenkotter & Scott (1977). "Sequencing Competitive Expansion Projects", Opl. Res., 25, 937-951.
19. Glazebrook (1976). "A Profitability Index for Alternative Research Projects", Omega, 4(1), 79-83.
20. Glazebrook (1978). "Some Ranking Formulate for Alternative Research Projects", Omega, 6, 193-194.
21. Ginzberg (1979). "Improving MIS Project Selection", Omega, 7(6), 527-537.
22. Goldwerger & Paroush (1977). "Capital Budgeting of Interdependent Projects: Activity Analysis Approach", Mgmt. Sci., 23, 1242-1246.
23. Gupta & Taube (1985). "A State of the Art Survey of Research on Project Management", Project Mgmt.: Methods and Studies, Elsevier Sci. Publishers B.V. (North-Holland), 293-313.
24. Hawkins & Adams (1974). "A Goal Programming Model for Capital Budgeting", Fin. Mgmt., 3, 52-57.
25. Jackson (1983). "Decision Methods for Evaluating R&D Projects", Res. Mgmt., 26(2), 16-22.
26. Jackson (1983). "Decision Methods for Selecting a Portfolio of R&D Projects", Res. Mgmt., 26(3), 21-26.
27. Keefer (1978). "Allocation Planning for R&D with Uncertainty and Multiple Objectives", IEEE Trans. Engineering Mgmt., EM-25, 8-14.
28. Keeney (1974). "Multiplicative Utility Function", Opns. Res., 22, 22-34.
29. Keeney (1982). "Decision Analysis: An Overview", Opns. Res., 30, 803-838.
30. Kenney & Nair (1977). "Selecting Nuclear Power Plant Sites in the Pacific Northwest Using Decision Analysis", Conflicting Objectives in Decision, 298-322.
31. Kenney & Raiffa (1976). "Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoff", John Wiley, New York.
32. Keown & Taylor (1979). "Allocation of R&D Funds: A Zero-One Goal Programming Approach", Omega, 7, 345-351.
33. Lee & Lerro (1974). "Capital Budgeting for Multiple Objectives", Fin. Mgmt., 3, 58-66.
34. Leinbach & Cromley (1983). "A Goal Programming Approach to Public Investment Decisions: A Case Study of Rural Roads in Indonesia", Soc.-Econ. Plann. Sci., 17, 1-10.

35. Lugassi, Mehrez & Sinuany-Stern (1985). "Nuclear Power Plant Site Selection: A Case Study", Nuclear Tech., 69, 7-13.
36. Mehrez, Mossery & Sinuany-Stern (1982). "Project Selection in a Small University R&D Laboratory", R&D Mgmt., 12, 169-174.
37. Mehrez & Sinuany-Stern (1983). "Resource Allocation to Interrelated Projects", Water Resources Res., 19, 876-880.
38. Plane & McMillan (1971). "Discrete Optimization: Integer Programming and Network Analysis for Management Decisions", Prentice-Hall, New Jersey.
39. Roy & Bouyssou (1986). "Comparison of Two Decision-Aid Models Applied to a Nuclear Power Plant Siting Example", Eur. J. Opl. Res., 25, 200-215.
40. Roy, Present & Silhol (1986). "A Programming Method for Determining which Paris Metro Stations Should Be Renovated", Eur. J. Opl. Res., 24, 318-334.
41. Schwartz & Vertinsky (1977). "Multi-Attribute Decision: A Study of R&D Project Selection", Mgmt. Sci., 23, 285-291.
42. Sfeir & Bromley (1977). "Decision-making in Developing Countries", Praeger, New York.
43. Silverman (1981). "Project Appraisal Methodology: A Multidimensional R&D Benefit/Cost Assessment Tool", Mgmt. Sci., 27, 802-821.
44. Sinuany-Stern & Mehrez (1987). "Discrete Multiattribute Utility Approach to Project Selection", J. Opl. Res. Soc., 38, 1133-1139.
45. Souder (1978). "System for Using R&D Project Evaluation Methods", Res. Mgmt., 21, 29-37.
46. Tang, et al. (1980). "Appraisal of Industrial Projects in a Developing Country–A Quantitative Approach", Omega, 8(3), 388-392.
47. Taylor, Moore & Clayton (1982). "R&D Project Selection and Manpower Allocation with Integer Nonlinear Goal Programming", Mgmt. Sci., 25(10), 1149-1158.
48. Turner (1977). "Judgmental Measures for Public Project Selection", Omega, 5(1), 11-21.
49. Vincke (1986). "Analaysis of Multicriteria Decision Aid in Europe", Eur. J. Opl. Res., 25, 160-168.
50. Weingartner & Ness (1967). "Methods for the Solution of the Multidimensional 0-1 Knapsack Problem", Opsn. Res., 15, 83-103.
51. Winkofsky, Baker & Sweeney (1981). "A Decision Process Model of R&D Resource Allocation in Hierarchical Organizations", Mgmt. Sci., 27, 268-283.
52. Zionts (1977). "Integer Linear Programming with Multiple Objectives", Annals of Discrete Mathematics, 1, 551 -562.