

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

曾國雄¹ 林楨家²

論文接受日期：86年3月5日

摘 要

「淡海新市鎮」之面積為1765.86公頃，計畫容納30萬人口，因未規劃各項緊急設施的佈設區位，尤其是須由政府設置，且用地需求較大的消防隊，將危及居民生命與財產之安全。本文以備用設施觀念，擴充BACOP1模式，構建4個目標式的0-1整數多目標規劃模式，分析淡海新市鎮消防隊最佳佈設區位，並利用TOPSIS多目標規劃法求解非劣解，依據對「最小設施數」目標之重視程度改變權重值，研擬五個不同的設施數及佈設區位之非劣解替選方案，以供本地區防災規劃或都市計畫檢討之基礎。

關鍵詞：TOPSIS，多目標規劃，消防隊，區位。

-
- 1.國立交通大學能源與環境研究小組暨交通運輸研究所教授
 - 2.國立交通大學交通運輸研究所博士班研究生暨交通部運輸研究所副工程司。

中華民國都市計劃學會 民國八十六年



APPLICATION OF TOPSIS MULTIOBJECTIVE PROGRAMMING APPROACH TO FIRE STATION LOCATION IN TANHAI NEW TOWN

Gwo-Hshiung Tzeng and Jen-Jia Lin

Energy and Environmental Research Group and Institute of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University.

114, 4F, Chung-Hsiao W. Rd., Sec. 1, Taipei 100, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Tanhai, a new town, is 1765.86 hectares in area and planned for a population of three hundred thousands. The location for emergency facilities, especially for fire stations, is neglected in such a large-scale project. This negligence may cause harm to people's lives and property. In this paper, the BACOP1 model is expanded to 4 objectives in the 0-1 integer programming model to analyze the location of the fire stations in the new town of Tanhai. In the process of analysis, the TOPSIS multiobjective programming approach was used for the non-inferior solutions. Five alternatives including different numbers and layouts were obtained by using different weights for each objective. The result can provide a basis for the evaluating process.

Keywords: TOPSIS, Multiobjective Programming, Fire Station, Location Layout.

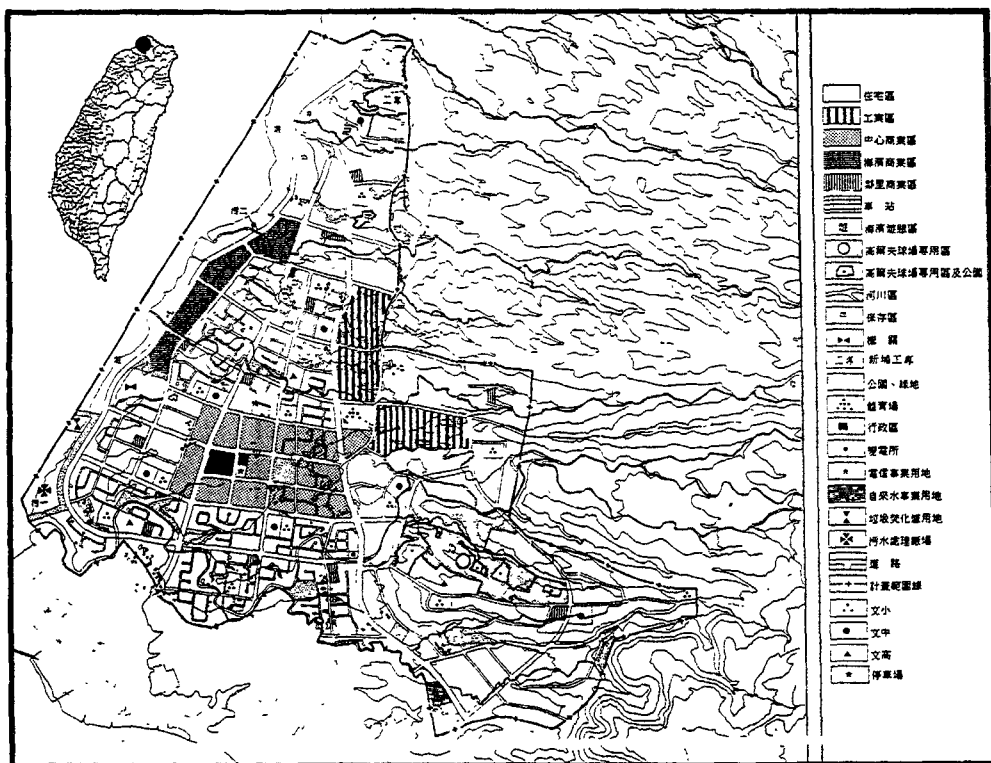
一、前 言

「淡海新市鎮」位於淡水舊市區北方約1.5公里，南距台北市中心約16公里，北距三芝鄉約6公里，位置詳如圖1。內政部住宅建設委員會於民國78年6月7日第一次會議決議進行開發，並於民國80年1月發佈實施「淡海新市鎮特定區主要計畫」，民國82年2月發佈實施「變更淡海新市鎮特定區主要計畫(配合第一期細部計畫案)」與「淡海新市鎮特定區第一期細部計畫」，目前正進行綜合示範社區的開發工作。

本新市鎮計畫為一居住、休閒及購物中心型態之特定區計畫，開發目的在提供適宜價位之住宅，以滿足台北都會區中低收入民眾居住需求，並紓解台北都會區人口膨脹之壓力。全區面積1765.86公頃（含海域96.57公頃），計畫容納30萬人口，預定分三期開發，以民國103年為計畫目標年，土地使用計畫詳如圖一及附錄。



由土地使用計畫內容發現，本新市鎮規劃公共設施雖包括機關、學校、公園、體育場、綠地、車站、停車場、變電所、電信事業、自來水事業、污水處理場及垃圾焚化爐等項，卻忽略對緊急設施用地佈設作規劃，尤其是須由政府設置，且用地需求較大之消防隊。因本新市鎮計畫規模已相當於省轄市，依據「直轄市縣(市)政府消防機構組織編制及車輛裝備配置標準」第八條規定，省轄市每一萬人需配置消防車一輛，若事先未對消防隊佈設區位進行研究，以確定區位並劃設用地，屆時需配置的30輛消防車將無適當位置停放，直接危及該地居民生命財產安全。本研究之目的，即在分析尋求消防隊佈設區位替選方案，作為本地區進行防災規劃及都市計畫檢討時評估之基礎。



資料來源：內政部營建署(1993)。

圖一 淡海新市鎮位置及土地使用計畫示意圖

設施區位分析一般屬0-1整數規劃問題，其中消防隊、醫院、警察局等緊急設施，因所提供服務具有時效性與急迫性，依追求目標之不同，大致可分為「中心問題 (P-center Problem)」、「中位問題 (P-median Problem)」、「區位設施之服務範圍問題 (Location Set Covering Problem, LSCP)」與「最大服務區位問題 (Maximal Coverage Location Problem, MCLP)」四種 (樓邦儒, 1995)，其中後二者並有服務範圍限制。以往國內以計量模式分析消防隊區位多以

單一目標進行分析，最近則有樓邦儒（1995）結合「中心問題」及「最大服務區位問題」成為二個目標式的多目標規劃問題進行分析。樓氏之研究雖然兼顧到效率性與公平性，但本研究認為仍有以下二個缺憾：一是總設施數為外生之固定值，適合分析將已存在之消防組織編制作更佳區位變化之問題；二是仍以傳統只關心每個需求點是否至少在一個設施之服務範圍內之觀點構建模式，未考慮到因社會環境變遷，而日漸重視生命財產安全之備用設施需求。

因此本研究以考慮備用需求佈設緊急設施之觀念，構建0-1整數多目標規劃模式，並以TOPSIS多目標規劃法求解，考量不同的財務能力而改變「最小設施數」目標權重值，分析出五個佈設區位替選方案，其設施數在3到7個之間，可作為本新市鎮進行防災規劃與都市計畫檢討評估之基礎。

本文首先介紹考慮備用需求佈設緊急設施之基本觀念以及TOPSIS多目標規劃方法，繼而說明所構建之消防隊佈設區位模式，及其對「淡海新市鎮」實證分析之過程與結果，最後提出本研究之結論及對後續工作之計畫及建議。

二、備用佈設緊急設施之基本觀念

緊急設施係指提供急難服務，以解除生命財產威脅的設施，例如消防隊、醫院、警察局等，這些設施之佈設區位選擇，應考慮以下幾項因素：

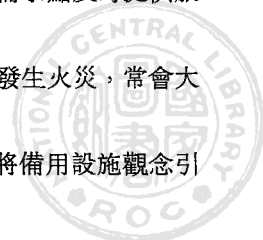
1. 儘可能使所有人含蓋在服務範圍內；
2. 當急難狀況發生時，能在有效的短時間內提供服務解除狀況；
3. 維持經濟有效的設施佈設數量。

為兼顧上述因素，一般有服務範圍限制之問題，多以屬於0-1整數規劃的「服務範圍模式（covering models）」進行分析。此類模式包括兩種類型：一是Toregas et al. (1971)所構建「區位服務範圍問題（Location Set Covering Problem, LSCP）」，目的在分析能將所有人口納在服務範圍內的最小設施數；二是Church and ReVelle (1974)所構建「最大服務區位問題（Maximal Covering Location Problem, MCLP）」，目的在分析能服務最多人口數之固定數目設施之佈設狀況。

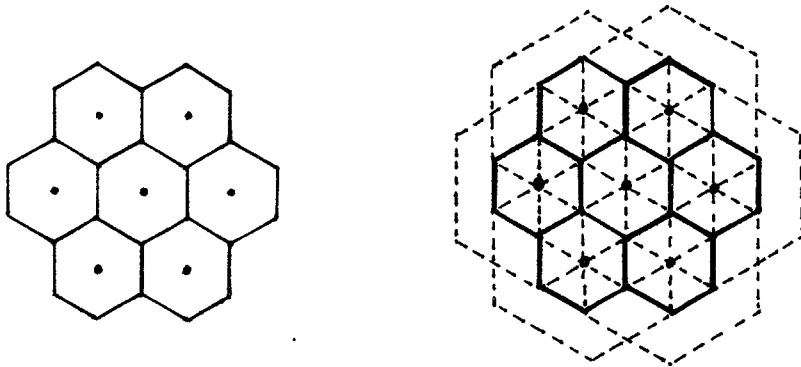
前述兩類早期模式係屬單一目標問題，基本假設為各需求點至少在一個設施之服務範圍內即可，如圖二(a)示意，目前我國消防隊編制分工即大致依此原則進行。以這樣的原則佈設緊急設施，會產生以下問題：

1. 當服務範圍內同時發生好幾處需求點時，設施因受容量限制，無法對每個需求點及時提供服務，例如歹徒蓄意在各處縱火，使管轄消防隊無法全部顧及；
2. 即使需求點僅有一處，但規模超過專屬設施服務容量，例如木造房屋聚落發生火災，常會大片延燒，單獨一個消防隊無法控制火勢。

上述兩個問題案例，必須及時獲得其他消防隊支援，因此後繼研究者將備用設施觀念引



入，使每個設施不僅專屬服務某些人，同時也可能是其他人的備用設施，在其他人各自專屬設施無法提供服務時，即發揮備用功能。如此每個人除受到專屬設施保護外，尚有一個以上備用設施的支援保障，如圖二(b)示意。



(a)傳統服務範圍模式觀念

(b)備用服務範圍模式觀念

圖例：● 設施位置；— 專屬功能服務範圍；--- 備用功能服務範圍。

圖二 緊急設施佈設觀念比較

Hogan and ReVell (1986)以備用設施觀念分別修改LSCP與MCLP模式，成為BACOP1與BACOP2模式如附錄，修改後的模式屬多目標0-1整數規劃模式。其中，BACOP1除保留LSCP最小設施數之目標式外，另增加備用設施服務人口數最大之目標式，並以「目標界限法 (bounded objective method)」求解；BACOP2除保留MCLP固定設施數目下之最大專屬設施服務人口數目標式外，另增加備用設施服務人口數最大之目標式，並以「權重法 (weighting method)」求解。上述兩個修改模式僅考慮一個備用設施，Hogan and ReVelle (1986)表示亦可依需要，將模式修改為三個以上目標式，即可再考慮到二個以上備用設施。

一般而言，備用設施愈多表示生命財產受到保障愈大，尤其都市地區因發展密度較高，需要急難服務的機會也較多，又因土地資源寶貴，每個緊急設施服務容量規模多受限制，一但同時發生大量需求時，擁有多個備用設施就顯的相當重要，都市消防隊的佈設即具有這樣的特性。但是BACOP模式若要考量二個以上備用設施，需要解三個以上目標式的多目標規劃問題，Hogen and ReVelle (1986)原先採用的目標界限法與權重法，便顯的繁複而無效率，有必要尋求其它合適的解題方法。

三、TOPSIS多目標規劃法

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)原是由Hwang and Yoon (1981)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) 最接近, 且距「負理想解 (Negative Ideal Solution, NIS)」最遠離的方案。Lai et al. (1994)將其精神應用至多目標規劃問題上, 求解過程可分為兩個階段: 首先將數個目標式正規化 (normalization), 分別建立與PIS和NIS間的「距離」關係式; 繼而利用「模糊規劃法 (fuzzy programming)」, 解「距PIS最近」與「距NIS最遠」二個目標的多目標規劃問題。依照Lai et al. (1994)之分類, 本方法屬於不事先加入決策者偏好資訊 (No Articulation of Preference Information)之多目標規劃法, 擅長處理較多目標式之問題; 對考量多個備用設施之BACOP模式而言, 不失為一有效的求解方法。操作步驟說明如下:

1. 令有 k 個目標式、 n 個決策變數與 m 個限制式的多目標問題表示如下:

$$\begin{aligned} & \max/\min [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \\ & \text{s.t. } x \in X = \{x \mid g_i(x) \geq, =, \leq 0, i=1, 2, \dots, m\} \end{aligned}$$

其中: $f_j(x)$ 代表追求max之目標式, $j \in J$; $f_i(x)$ 代表追求min之目標式, $i \in I$ 。

2. 尋找PIS與NIS:

令 $f^* = \{\max_{x \in X} (\text{或} \min) f_j(x) (\text{或} f_i(x)), \forall j (\text{或} i)\}$, $f^- = \{\min_{x \in X} (\text{或} \max) f_j(x) (\text{或} f_i(x)), \forall j (\text{或} i)\}$ 。其中, $j \in J$ 且 $i \in I$, 則 $f^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*\}$ 為正理想解 (PIS), $f^- = \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-\}$ 為負理想解 (NIS)。

3. 尋找各可行解與PIS、NIS間之「距離」: d_p^{PIS} 與 d_p^{NIS} ;

$$\begin{aligned} d_p^{PIS} &= \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \\ d_p^{NIS} &= \left\{ \sum_{j \in J} w_j^p \left[\frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right]^p + \sum_{i \in I} w_i^p \left[\frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right]^p \right\}^{1/p} \end{aligned}$$

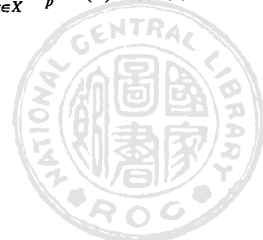
其中, $w_t (t=1, 2, \dots, k)$ 代表各目標式之權重; $p=1, 2, \dots, \infty$, 代表不同的「距離」意義 (Lai et al., 1994)。

4. 將問題化為雙目標問題 (bi-objective problem):

$$\begin{aligned} & \min d_p^{PIS}(x) \\ & \max d_p^{NIS}(x) \\ & \text{s.t. } x \in X \end{aligned}$$

5. 前項問題兩個目標間具衝突性, 無法同時獲得最佳化, 每個目標僅能達到「部份」最佳化, 由於「部份」語意具模糊性, 故以隸屬函數 (membership function) 描述「部份」的程度。假設隸屬函數在 d_p^{**} 與 d_p^* (\cdot : PIS 或 NIS) 間為線性關係, 其中: $(d_p^{PIS})^* = \min_{x \in X} d_p^{PIS}(x)$, 解得 x^P ; $(d_p^{NIS})^* = \max_{x \in X} d_p^{NIS}(x)$, 解得 x^N ; $(d_p^{PIS})^- = d_p^{PIS}(x^N)$, 且 $(d_p^{NIS})^- = d_p^{NIS}(x^P)$ 。

則隸屬函數可表示如下:



$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{若 } d_p^{PIS}(x) \leq (d_p^{PIS})^* \\ 1 - \frac{d_p^{PIS}(x) - (d_p^{PIS})^*}{(d_p^{PIS})^* - (d_p^{PIS})^*} & \text{若 } (d_p^{PIS})^* \geq d_p^{PIS}(x) \geq (d_p^{PIS})^* \\ 0 & \text{若 } d_p^{PIS}(x) > (d_p^{PIS})^* \end{cases}$$

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

6. 以max-min operation解(4.)問題如下：

$$\begin{aligned} \max \quad & \alpha \\ \text{s.t} \quad & \mu_1(x) \geq \alpha \\ & \mu_2(x) \geq \alpha \\ & x \in X \end{aligned}$$

解上述模糊規劃問題，即獲得TOPSIS多目標規劃法之解答，此解之意義為：「距PIS最近」與「距NIS最遠」2個目標達成度之最小值極大化。

7. 經過Lai et al. (1994)檢討發現，當 $p=1$ 時，或是 $p=\infty$ 且權重 w 均相等時， $\min_{x \in X} d_p^{PIS}(x)$ 與 $\max_{x \in X} d_p^{NIS}(x)$ 會有相同的解，此時不須再解(6.)問題，其它情形則須執行全部步驟。

四、淡海新市鎮消防隊佈設區位模式構建

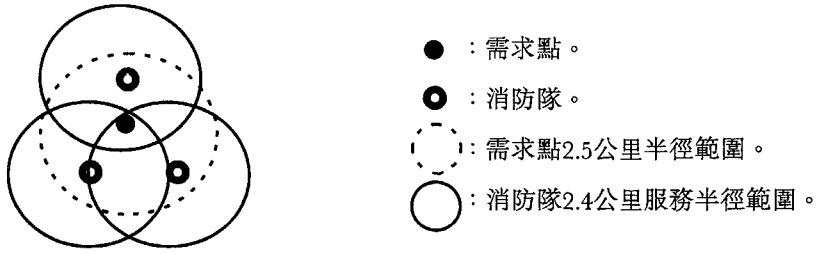
本節首先探討問題特性，作為構建模式之理論基礎；繼而擴充BACOP1模式成為4個目標式之多目標規劃模式，用以分析以1個專屬設施及3個備用設施需求為目標考量之消防隊佈設區位問題。

4.1 問題說明

淡海新市鎮屬新市區開發案，計畫區內原來並無消防隊編制，在數量及區位上均須重新建立，故屬於區位服務範圍問題 (LSCP)，目的在求最佳的設施數及區位。再加上對備用需求的考量，本研究以屬LSCP之BACOP1模式為基礎，擴充備用需求之考量規模，進行模式之構建。

依據蔡嘉哲 (1982)所整理國外學者對消防系統配置問題之地理位置與土地利用法則，對於重要地區，區內任何一點在1.5公里半徑範圍內至少要有1個消防據點，而2.5公里半徑範圍內至少要有3個消防據點。另依我國「直轄市縣 (市)政府消防機構組織編制及車輛裝備配置標準」第四條規定，省轄市配置標準為：「消防車5分鐘能到達之範圍，服務面積九平方公里設一分隊為原則，郊區得視狀況酌予放寬或設小隊。」則我國法定消防隊服務半徑約為2.4公里。綜合上二項說明發現，每一需求點至少應在3個消防隊之服務範圍內，如圖三所示。





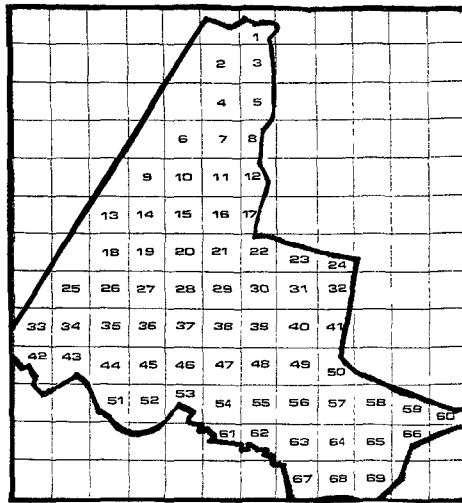
圖三 消防隊設置需求示意

為提高生命財產之安全，以及為分析替選方案時預留空間，本研究以每需求點同時在4個消防隊服務範圍內為最大目標考量，亦即將BACOP1模式擴充至最多可考量1個專屬設施以及3個備用設施需求，來構建分析模式。

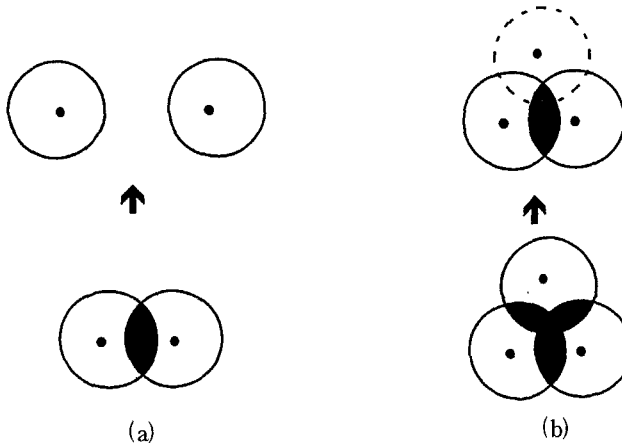
4.2 模式構建

1. 本研究將整個新市鎮範圍扣除海域之外，劃分為69個500公尺見方的分區，如圖四所示，並以這69個分區為基礎構建模式。
2. 模式所考量目標包括兩部分：一是基於經濟效益考量之「總設施數最小」目標；二是使愈多人獲得更大保障之目標，本研究考量至一個專屬設施及三個備用設施需求，以「至少有1個以上備用設施服務之人口數最大」、「至少有2個以上備用設施服務之人口數最大」及「至少有3個以上備用設施服務之人口數最大」等三個目標表示，各自代表不同的人口數單位意義。四個目標式間互相衝突的償付 (trade-off) 關係如下：
 - (1) 當消防隊數目愈小時，至少有1個以上備用設施服務之人口數會愈少；如圖五(a)上半圖，配置3個消防隊所形成在1個以上設施服務人口數範圍如黑色部份，當減少1個設施成為下半圖時，則黑色範圍減少，此為第一個目標與其他三個目標間的衝突性。
 - (2) 當在n個以上設施服務範圍內人口數愈大時，在n+1個以上設施服務範圍內人口數可能會愈少；如圖五(b)上半圖改變成下半圖配置時，在1個以上設施服務範圍內人口增加了(整個圖形範圍內)，但在2個以上設施服務範圍內人口則減少(黑色部分)，此為第二、三、四個目標間的衝突性。





圖四 分區示意圖



圖五 模式目標間償付關係示意

3. 構建模式如下：

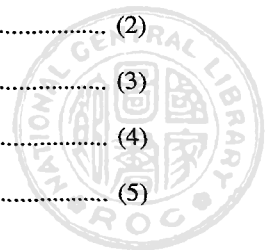
$$\min f_1 = \sum_{j=1}^{69} X_j \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\max f_2 = \sum_{i=1}^{69} a_i t_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\max f_3 = \sum_{i=1}^{69} a_i u_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\max f_4 = \sum_{i=1}^{69} a_i v_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in N} X_j - t_i - u_i - v_i \geq 1, \quad i=1 \sim 69 \quad \dots\dots\dots (5)$$



$$u_i - t_i \leq 0, \quad i=1 \sim 69 \dots\dots\dots (6)$$

$$v_i - u_i \leq 0, \quad i=1 \sim 69 \dots\dots\dots (7)$$

$$\sum_{j \in M_i} X_j \geq 1, \quad i=1 \sim 69 \dots\dots\dots (8)$$

$$t_i = 1, \text{ 若 } i \text{ 區在1個以上備用設施服務範圍內；0, 其它。} \dots\dots\dots (9)$$

$$u_i = 1, \text{ 若 } i \text{ 區在2個以上備用設施服務範圍內；0, 其它。} \dots\dots\dots (10)$$

$$v_i = 1, \text{ 若 } i \text{ 區在3個以上備用設施服務範圍內；0, 其它。} \dots\dots\dots (11)$$

$$X_j = 1, \text{ 若消防隊座落在 } j \text{ 區；0, 其它。} \dots\dots\dots (12)$$

其中：

$$a_i = i \text{ 區接受服務人口；} \dots\dots\dots (13)$$

$$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq 3 \text{ 公里}\} ; \dots\dots\dots (14)$$

$$M_i = \{j \mid d_{ij} \leq 2 \text{ 公里}\} ; \dots\dots\dots (15)$$

$$i : \text{ 需求點分區}(1 \sim 69) ; \dots\dots\dots (16)$$

$$j : \text{ 消防隊設置分區}(1 \sim 69) ; \dots\dots\dots (17)$$

$$X_j, t_i, u_i, v_i : \text{ 決策變數，意義如(9)到(12)式說明。}$$

4. 模式說明如下：

(1)式代表消防隊總數最小化目標式；

(2)式代表至少有1個備用設施服務之人口數最大化目標式；

(3)式代表至少有2個備用設施服務之人口數最大化目標式；

(4)式代表至少有3個備用設施服務之人口數最大化目標式；

(5)式限制有備用設施即表示有專屬設施；

(6)式限制有2個備用設施即表示有1個備用設施；

(7)式限制有3個備用設施即表示有2個備用設施；

(8)式限制每個分區至少在一個專屬設施服務範圍內；

(9)~(12)式限制決策變數為0或1之整數；

(13)式代表各區接受服務人數，估算方式詳附錄；

(14)式代表備用設施服務半徑，係以專屬設施服務半徑的1.5倍估算；

(15)式代表專屬設施服務半徑。依「直轄市縣(市)政府消防機構組織編制及車輛裝備配置標準」第四條規定，省轄市設置標準為：「消防車五分鐘能到達之範圍，服務面積九平方公里設一分隊為原則，郊區得視狀況酌予放寬或設小隊。」則服務半徑約為2.4公里，但因尚考慮到備用設施，故專屬設施服務半徑定為2公里；

(16)(17)式代表全部69個分區均為服務需求點與設施可能佈設點。



五、模式操作與結果檢討分析

本節目的在說明以TOPSIS多目標規劃法解前節所構建模式之過程，並分析檢討求解之結果。

5.1 求解過程

1. 尋找正理想解(PIS)與負理想解(NIS)，分別如表一與表二。

表一 PIS償付表

	f_1	f_2	f_3	f_4	消防隊座落分區
$\min f_1$	3*	448867	155405	0	4,33,50
$\max f_2$	5	465935*	211570	47406	1,21,42,60,68
$\max f_3$	7	465935	465935*	140730	1,3,14,30,33,66,68
$\max f_4$	9	465935	465935	465935*	1,2,3,9,42,48,50,56,61

PIS : $f^*=(3,465935,465935,465935)$

表二 NIS償付表

	f_1	f_2	f_3	f_4	消防隊座落分區
$\max f_1$	69	465935	465935	465935	1~69
$\min f_2$	3	309701	33028	0	1,18,57
$\min f_3$	3	327691	15799	0	1,19,58
$\min f_4$	3	319930	148858	0	12,51,66

NIS : $f^-(69,309701,15799,0)$

2. Lai et al. (1994)、Yoon (1987)均曾指出，距離公式的精確度係隨 p 值越大而越低，本研究定 $p=1$ ，則 d^{PIS} 與 d^{NIS} 如下式：

$$d^{PIS} = w_1 [(f_1(x)-3)/66] + w_2 [(465935-f_2(x))/156234] \\ + w_3 [(465935-f_3(x))/450136] + w_4 [(465935-f_4(x))/465935]$$

$$d^{NIS} = w_1 [(69-f_1(x))/66] + w_2 [(f_2(x)-309701)/156234] \\ + w_3 [(f_3(x)-15799)/450136] + w_4 [(f_4(x)-0)/465935]$$

3. 由於 $p=1$ 時，不須再解模糊規劃問題，本研究設定不同權重值，直接解 $\min_{x \in X} d^{PIS}$ 即得答案如表三。



表三 消防隊設施區位解一覽

(w_1, w_2, w_3, w_4)	$\min d^{PS}$	(f_1, f_2, f_3, f_4) (達成率)	設施座落分區 $(X_j = 1)$	有1個備用 設施服務分 區($t_j = 1$)	有2個備用 設施服務分 區($u_i = 1$)	有3個備用 設施服務分 區($v_i = 1$)
(1,1,1,1)	0.064224	(7,465935,465935,464250) (93.9%,100%,100%,99.6%)	1,14,23,30,39,46,56.	1-69.	1-69.	2-69.
(2,1,1,1)	0.121367	(6,465935,464250,453488) (95.5%,100%,99.6%,97.3%)	6,15,24,30,46,56.	1-69.	2-69.	2-32,34-41, 43-59,61-69.
(10,1,1,1)	0.425653	(5,464250,454880,425277) (97.0%,98.9%,97.5%,91.3%)	6,30,39,46,56.	2-69.	4-69.	6,7,9-32, 34-41,43-59, 61-69
(40,1,1,1)	1.082141	(4,464250,418480,298285) (98.5%,98.9%,89.5%,64.0%)	11,30,41,46.	2-69.	6-32,34-41, 44-59,61-69.	7,10-12,14-17, 19-24,26-32, 35-41,44-50, 53-55.
(100,1,1,1)	1.676277	(3,418480,298285,0) (100%,69.6%,62.8%,0%)	11,41,46.	6-32,34-41, 44-59,61-69.	7,10-12, 14-17,19-24, 26-32,35-41, 44-50,53-55.	-

註：1.達成率 = $(f_j - f_j^-)/(f_j^* - f_j^-)$, $j \in J$ 。

$$(f_i^- - f_i)/(f_i^- - f_i^*), i \in I。$$

2. 「有n個備用設施服務分區」表示該分區在 (n+1)個以上消防隊服務範圍內。

5.2 求解結果之檢討分析

由於消防隊係由公部門設置，故政府之能力及態度具有關鍵性的影響，當政府覺得財政配合愈困難或土地取得愈不易，便會逐步提高「總設施數最小化」目標之權重值(w_1)，此時設施數會愈小，在2個以上設施服務範圍內之人口數亦會愈小。本研究基於此關鍵因素，在固定目標二、三及四之權重值為1之情形下，逐步改變目標一之權重值，解得如表三所列5個非劣解替選方案，作為政府基於財務能力及執行可行性等方面考量下，進一步決策評估之基礎。各替選方案示意如圖六，特色說明如下（各方案之目標權重為 $(w_1, 1, 1, 1)$ ）：

- $w_1 = 1$ ：各目標達成率均在93%以上，設置7處消防隊，分別位於1、14、23、30、39、46、56等區，除1區位於3個消防隊服務範圍內，2到69區均在4個消防隊服務範圍內。
- $w_1 = 2$ ：各目標達成率均在95%以上，設置6處消防隊，分別位於6、15、24、30、46、56等區，除1區位於2個消防隊服務範圍內，2到69區均位於3個消防隊服務範圍內，其中且有65個分區在4個消防隊服務範圍內。

3. $w_1=10$ ：各目標達成率均在91%以上，設置5處消防隊，分別位於6、30、39、46、56等區，其中2到69區在2個消防隊服務範圍內，4到69區在3個消防隊服務範圍內，另有60個分區在4個消防隊服務範圍內。
4. $w_1=40$ ：目標一及目標二之達成率在98%以上，目標三及目標四達成率分別降至89.5%及64%，設置4處消防隊，分別位於11、30、41、46等區，其中2到69區在2個消防隊服務範圍內，並分別有60個及38個分區在3個及4個消防隊服務範圍內。
5. $w_1=100$ ：目標一達成率100%，目標二及目標三之達成率在60%到70%間，目標四達成率為零，設置3處消防隊，分別位於11、41、46等區，其中分別有60個及38個分區在2個及3個消防隊服務範圍內。

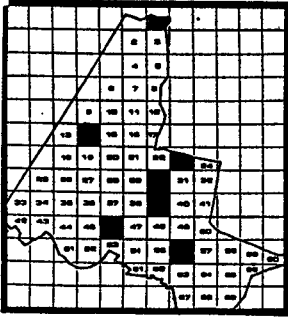
六、結論

本研究以1個專屬設施與3個備用設施為目標考量，擴充BACOP1模式，成為4個目標式的0-1整數多目標規劃模式，分析淡海新市鎮消防隊佈設區位，並利用TOPSIS多目標規劃法求解，依據對「最小設施數」目標之重視程度改變權重值，求得不同的設施數及佈設區位替選方案如圖六所示，可供作本地防災規劃或都市計畫檢討評估之基礎。如何以適當的評估方法，決定出最佳的決策方案，將是本研究未來要進行的後續工作。

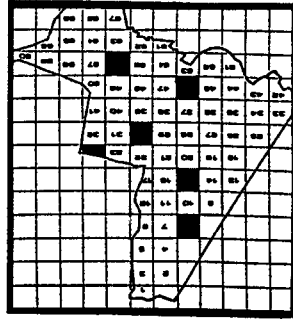
本研究模式操作部分，僅由政府財務負擔或執行能力的角度，改變第一個目標「總設施數最小化」之權重值，來產生替選方案；並未探討因對生命財產風險態度或目標不同，而改變第二、三、四目標式的權重，這在實際產生替選方案之作業中，是必須予以考量的。

另外，本研究所擴充利用的BACOP1模式係屬「確定性模式」(deterministic models)，最近的緊急設施區位理論已傾向「機率性模式」(stochastic models)，以更符現實環境，Hogan and ReVelle (1986)亦建議應將BACOP模式進一步以機率性來分析。故機率性甚至模糊性的觀念，應是本問題未來更進一步的研究方向。

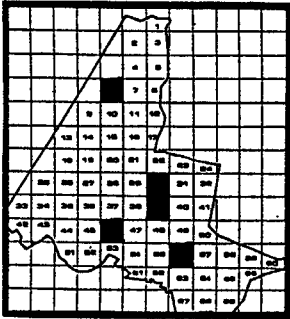




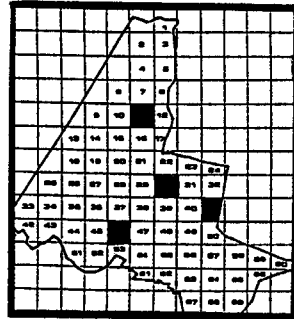
$w=(1,1,1,1)$
 $*=(7,100\%,100\%,99.9\%)$



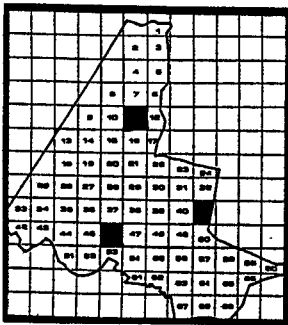
$w=(2,1,1,1)$
 $*=(6,100\%,99.9\%,97.3)$



$w=(10,1,1,1)$
 $*=(5,99.9\%,97.6\%,91.3\%)$



$w=(40,1,1,1)$
 $*=(4,99.9\%,89.8\%,64.0\%)$



$w=(100,1,1,1)$
 $*=(3,89.8\%,64.0\%,0\%)$

$*$ =(設施數, 有1個以上備用設施之人口比例, 有2個以上備用設施之人口比例, 有3個以上備用設施之人口比例), 有 n 個備用設施意旨為在 $(n+1)$ 個設施服務範圍內。

圖六 消防隊佈設區位示意



參考文獻

1. 內政部營建署(1993)，「淡海新市鎮整體開發計畫」。
2. 台灣省政府(1990)，「擬定淡海新市鎮特定區主要計畫書」。
3. 內政部(1993)，「變更淡海新市鎮特定區主要計畫（配合第一期細部計畫案）書」。
4. 辛晚教(1982)，「都市及區域計畫」，中國地政研究所。
5. 台北市政府(1995)，「八十三年台北市統計要覽」。
6. 馮正民、謝鴻年(1989)，「緊急設施區位模式之評述」，交通運輸，第十一期。
7. 樓邦儒(1995)，「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。
8. 蔡嘉哲(1982)，「台北市消防隊區位之研究」，中興大學都市計畫研究所碩士論文。
9. Church, R. L. and ReVelle, C. (1974), "The Maximal Covering Location Problems", Papers of the Regional Science Association, Vol. 32, No. 101, pp. 101-118.
10. Hogan, K. and ReVelle, C. (1986), "Concepts and Applications of Backup Coverage", Management Science, Vol. 32, No. 11, pp. 1434-1444.
11. Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981), Multiple Attribute Decision Making: Method and Applications, Springer-Verlag.
12. Lai, Y. J. and Hwang, C. L. (1994), Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag.
13. Lai, Y. J., Liu, T. Y. and Hwang, C. L. (1994), "TOPSIS for MODM", European Journal of Operational Research, Vol. 76, No. 3, pp. 486-500.
14. Love, R. F., Morris, J. G. and Wesolowsky, G. O. (1988), Facilities Location - Models & Methods, North-Holland.
15. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergmann, L. (1971), "The Location of Emergency Service Facilities", Operations Research, Vol. 19, No. 6, pp. 1363-1373.
16. Yoon, K. (1987), "A Reconciliation among Discrete Compromise Solution", Journal of the Operational Research Society, Vol. 38, No. 3, pp. 277-286.



附 錄

一、淡海新市鎮土地使用計畫表

項 目	面 積 (公頃)	百分比 (%)	項 目	面 積 (公頃)	百分比 (%)
土地使用分區	1,287.34	72.90	學校	70.17	3.97
住宅區	38.80	47.51	文小	29.98	1.70
商業區	135.94	7.70	文中	20.24	1.15
中心商業區	87.92	4.98	文高	19.95	1.13
鄰里商業區	36.72	2.08	公園	84.76	4.80
海濱商業區	11.30	0.64	高爾夫球場專用區及公園	2.37	0.13
工業區	67.89	3.84	體育場	6.50	0.37
行政區	6.36	0.36	綠地	1.48	0.08
保存區	1.78	0.10	車站	0.53	0.03
河川區	26.37	1.49	停車場	1.01	0.06
海濱遊憩區	158.46	8.97	變電所	1.11	0.06
高爾夫球場專用區	30.61	1.73	電信事業用地	0.79	0.04
高爾夫球場專用區及公園	10.51	0.60	自來水事業用地	3.25	0.18
私立新埔工專用地	10.62	0.60	污水處理廠	17.36	0.98
公共設施用地	478.52	27.10	垃圾焚化爐用地	2.40	0.14
機關	11.27	0.64	道路	275.52	15.60
			總計	1,765.86	100.00

資料來源：內政部，(1993)。



二、BACOP模式型態

	BACO1	BACOP2
基本模式	$\text{Min } Z_1 = \sum_{j \in J} x_j$ $\text{Max } Z_2 = \sum_{i \in I} a_i u_i$ Subject to : $\sum_{j \in N_i} x_j - u_i \geq 1 \quad \forall i \in I$	$\text{Max } Z_1 = \sum_{i \in I} a_i y_i$ $\text{Max } Z_2 = \sum_{i \in I} a_i u_i$ Subject to : $\sum_{j \in N_i} x_j - y_i - u_i \geq 1 \quad \forall i \in I$ $u_i - y_i \leq 0 \quad \forall i \in I$ $\sum_{j \in J} x_j = p$
服務限制	$\sum_{j \in M_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I$	$\sum_{j \in P_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I$
變數及係數定義	1, 需求點i在2個以上 $u_i = \begin{cases} \text{設施之服務範圍內。} \\ 0, \text{其它。} \end{cases}$ $x_j =$ 設在j地設施數, 為整數。 $a_i =$ 需求點i之人口數。 $N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}, M_i = \{j \mid d_{ij} \leq T\}$ 。 $S, T =$ 距離門檻, $S > T$ 。	1, 需求點i在1個以上 $y_i = \begin{cases} \text{設施之服務範圍內。} \\ 0, \text{其它。} \end{cases}$ 1, 需求點在2個以上 $u_i = \begin{cases} \text{設施之服務範圍內。} \\ 0, \text{其它。} \end{cases}$ $x_j =$ 設在j地設施數, 為整數。 $a_i =$ 需求點i之人口數。 $N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}, P_i = \{j \mid d_{ij} \leq R\}$ 。 $S, R =$ 距離門檻, $S < R$ 。p=總設施數。
I : 需求點集合, J : 設施可能設置區位集合。		
求解模式	$\text{Max } Z = \sum_{i \in I} a_i u_i$ Subject to : $\sum_{j \in N_i} x_j - u_i \geq 1 \quad \forall i \in I$ $\sum_{j \in J} x_j = p$ $u_i \leq 1$ $x_j \geq 0$ $u_i \geq 0$ p=逐次改變之總設施數限制。	$\text{Max } Z = w \sum_{i \in I} a_i y_i + (1-w) \sum_{i \in I} a_i u_i$ Subject to : $\sum_{j \in N_i} x_j - y_i - u_i \geq 1 \quad \forall i \in I$ $u_i - y_i \leq 0 \quad \forall i \in I$ $y_i \leq 1 \quad \forall i \in I$ $\sum_{j \in J} x_j = p$ $x_j \geq 0 \quad \forall i \in I$ $u_i \geq 0 \quad \forall i \in I$ $y_i \geq 0 \quad \forall i \in I$ w=權重值, 介於0與1間。

資料來源：Hogan, K. and ReVelle, C. (1986)。



三、各分區接受服務人口數

(一)計算方式：

$$a_i = i \text{ 區接受服務人口數} = \sum_{k \in K} (\text{面積}_{ik} \times \text{估計使用密度}_{ik})$$

K = {住宅, 商業, 工業, 行政, 機關, 學校}

i : 分區, k : 使用別.

(二)各種使用別估計使用密度：

使用別	使用密度 (人/公頃)	使用別	使用密度 (人/公頃)
住宅區 (一期)	525	工業區	100
住宅區 (二期)	230	行政區、機關	770
住宅區 (三期)	335	國小	971
中心商業區	1000	國中	990
鄰里商業區	500	高中	656
海濱商業區	250	專科學校	500

(三)計算結果：

分區	服務人口	分區	服務人口	分區	服務人口	分區	服務人口	分區	服務人口
1	1685	15	7319	29	14883	43	10787	57	998
2	2707	16	8810	30	3236	44	7156	58	4436
3	6663	17	1087	31	3520	45	9975	59	4358
4	7258	18	8217	32	5601	46	13996	60	3396
5	7593	19	10524	33	3003	47	11341	61	5156
6	1764	20	8419	34	11131	48	4171	62	3881
7	5291	21	5451	35	13074	49	32	63	4285
8	3990	22	4673	36	15259	50	1921	64	4478
9	2693	23	4588	37	14875	51	8033	65	6773
10	6466	24	1621	38	16249	52	12973	66	2497
11	9961	25	8396	39	6434	53	3864	67	4769
12	4335	26	9602	40	4916	54	8415	68	4441
13	2067	27	15489	41	5630	55	4065	69	4945
14	10653	28	15383	42	4363	56	9914	-	-

