

都市公共設施規劃為避難據點之適宜性評估— 以嘉義市為例

杜建宏* 張益三** 包昇平***

論文收件日期：95年08月16日

論文接受日期：96年03月23日

摘 要

都市地區是人口聚集、產經活動的主要場所，一旦發生重大災害，損失將十分嚴重；而災害的發生與所帶來的影響，在目前的科學中仍無法精確的預測。在這樣的時空背景之下，平時對於未來災害的減災與整備，便成為防災計畫的重要工作。本研究係針對避難據點的規劃整備，建立避難據點之規劃準則與適宜性評估體系，並考量災害潛勢之影響，運用灰關聯分析與熵值權重法，來幫助規劃者理性的評估避難據點之適宜性，以改善目前避難據點規劃之方式。以嘉義市實證地區的評估結果，在嘉義市避難據點適宜性評估結果得知，避難據點之服務能力仍然相當的不足，而在災害潛勢影響中，震後火災的影響最大。因此，在避難據點規劃整備中，應妥善的進行防範措施。

關鍵詞：避難據點規劃、適宜性評估、災害潛勢

* 國立成功大學都市計劃研究所博士班研究生

** 國立成功大學工學院兼任教授

*** 國立成功大學都市計劃研究所碩士

A Suitability Assessment of Refuge Bases with Urban Public Facilities: A Case Study of Chia-Yi City

Chien-Hung Tu*, Yih-San Chang, and
Sheng-Ping Pao*****

Abstract

Urban areas consist of a dense population and prosperous economic activities. People's property and living facilities are located heavily in urban areas. A disaster can cause tremendous loss of lives and property damages. Limited scientific technology can be used to predict when they might occur. Under such circumstances, a comprehensive disaster prevention plan is important to reduce potential damages caused by the disaster. Refuge base planning is developed based on a suitability assessment system in which influences of disaster potential are considered. The Gray Correlation Theory and Entropy Weight Method were adopted to rationally assess suitability, and improve current methods of refuge base planning. Using an empirical study of Chia-Yi City in central Taiwan, we found that service functions of refuge bases could serve as a priority of suitability improvement in refuge base planning. Fire was found to be the most salient among negative influences of disaster potential, and so it deserves further attention in future planning.

Keywords: Refuge Base Planning, Suitability Assessment, Disaster Potential

* Doctoral student, Department of Urban Planning, National Cheng-Kung University

** Adjunct Professor, College of Engineering, National Cheng-Kung University

*** Master, Department of Urban Planning, National Cheng-Kung University

一、前 言

由於自然環境的因素，台灣經常發生地震、颱風等天然災害，加上台灣高人口密度的都市特性，更容易造成高損害之災害事件，因此要減少災害對都市民眾的損傷，及創造安全的都市環境，需要事先進行完善的防災規劃，建立相關的防災與應變措施，以減輕災害所造成之傷亡。

在921地震的經驗中，暴露出防災避難據點安全性的問題，許多防災避難據點都因為地震造成損害，導致其防災避難功能無法發揮，因此在地點適宜性的考量上，應審慎評估。本研究之目的，係探討目前避難據點規劃上的問題，並嘗試建構避難據點適宜性評估方法，來幫助規劃者在進行避難據點規劃時，能藉此評估各公共設施指定為避難據點之適宜程度，及瞭解避難據點受災害潛勢之影響情形，與未來可以進行減災整備的方向，以修正及檢討現有都市防災避難據點之規劃方式，避免災變發生時，防災避難據點無法發揮避難功能，並可藉由避難據點適宜性評估體系之評估，來瞭解各待選據點在指定為避難據點時，所存在的災害潛勢影響及區位供需情形。進而利用事前之避難據點設施補強、減災改善措施與服務範圍分配等，來減少防災避難據點受危險據點及潛勢災害等危險因子波及程度；減輕災害對避難人員之生命威脅，並提升避難據點在災時的使用效率。

防災避難據點是在地震災害發生三至五小時後，也就是在災害應變與復原階段中，能提供民眾避難生活及救助等功能之安全場所，在防災空間系統中，係十分重要的一環。在目前避難據點規劃中，主要皆以設施服務能力、設施的公平性與效率性，進行避難據點的評估與指定，而對於避難據點在災害發生時的適宜性與安全性的考量仍十分缺乏。另外，921地震後各地災害潛勢研究陸續建立，但規劃者如何就不同災害潛勢資料，來進行防救災空間系統規劃，也成為防災規劃上的重要議題。因此，本研究將藉由國內外之都市防災規劃相關研究回顧、相關災害經驗文獻回顧及專家訪談，來確立本研究之主要問題，並藉由問題之相關文獻及災害經驗，建立避難據點適宜性之評估指標體系；嘗試以多準則決策方法與灰色理論，輔以地理資訊系統分析，進行都市防災避難據點之適宜性評估。其中在權重求取上，本研究利用客觀權重法中的熵值權重法來求取指標權重，並利用土地適宜性分析方法，來評估各項影響指標之影響程度，藉由適宜性評估的過程，讓避難據點指定的考量上能夠更加完善。

二、相關文獻回顧

(一) 避難據點區位評估

依據李威儀與何明錦（2000）的分類，避難據點可分成緊急避難場所、臨時避難場所、臨時收容場所與中長期收容場所等四類（如表一），在目前的規劃方式中，主要有三種類型分別介紹如下：

1. 藉由規劃標準的建立來進行規劃

利用規劃標準的建立，來選擇與指定避難據點，例如何明錦與黃定國（1997）利用面積、防火能力與最小每人避難面積等，來進行避難據點的指定。

2. 利用避難圈域的劃分來指定

由人口分佈、消防分區與行政界線等來劃分避難圈域，再就各避難圈域中選定避難據點，例如蔡柏全（2002）利用避難圈域的劃分，進行避難圈域中有關避難需求面積的檢討，以尋求足夠面積的避難據點。

表一 避難據點分類與劃設標準表

類別	空間名稱	劃設指標
緊急避難場所	基地內開放空間	◎周邊防火安全植栽
	鄰里公園	
	道路	
臨時避難場所	鄰里公園	◎鄰接避難道路
	大型空地	◎至少鄰接一條輸送、救援道路
	廣場	◎平均每人2m ² 的安全面積 ◎至少兩向出口
臨時收容場所	全市性公園	◎鄰接輸送、救援以上道路
	體育場所	
	兒童遊樂場	
	廣場	
中、長期收容場所	學校	◎鄰接輸送、救援以上道路
	社教機構	
	醫療用地	
	醫療衛生機構	

資料來源：李威儀與何明錦（2000）

3. 藉由避難據點的區位評估來進行選定

避難據點的區位評估，係先利用法令與規劃準則篩選出待選據點，再運用數學規劃模式，進行避難據點之區位選擇決策，進而選定最符合目標之避難據點組合，其相關研究如表二所示。

表二 避難據點規劃相關研究綜理表

文獻	避難據點規劃方式	決策方式	災害潛勢考量方式
張文侯 (1997)	利用公平與效率兩大目標，進行防災避難場所之區位決策	P中位模式	無考量
Owen and Daskin (1998)	提出P中心問題或覆蓋問題，較適合處理緊急設施區位配置	數學規劃法	無考量
李威儀與錢學陶 (1999)	建立規劃標準進行避難據點之評選	規劃標準	土壤液化
李佩瑜 (2000)	利用規劃標準與圈域劃分，進行避難據點規劃	圈域劃分 規劃標準	無考量
蔡柏全 (2002)	利用避難圈域之劃分，再進行圈域內避難據點之指定	圈域劃分	無考量
Silva and Serra (2003)	探討等候理論，如何結合緊急避難設施區位配置之研究	數學規劃法	無考量
林楨家與謝瓊慧 (2003)	利用區位配置模式（CMCLP、CLSCP、LSCP）來進行規劃決策檢討臨時避難場所區位	數學規劃法	無考量
吳華權 (2003)	利用P中位模式，進行緊急避難場所區位評估	P中位模式	無考量
鍾佳欣 (2004)	利用最大區位覆蓋法（MLCP）進行緊急避難據點區位評估	數學規劃法	無考量
戴政安 (2005)	以避難行為假設性問題影響分析及等候理論，進行避難據點區位配置最適化之研究	數學規劃法	無考量

(二) 熵值權重法及灰關聯分析應用

1. 熵值權重法

在熵值權重法的運用上，陳協勝（1992）利用模糊決策方法與熵值權重法來評選高雄市公車移轉民營的最適方案，認為熵值權重法乃是運用熵值來表示事件發生的不確定性程度，適合對未來不確定情形下的評估準則權重進行求解。陳錦芬（2001）利用灰關聯分析與熵值權重法，以簡便的方法來進行台灣地區銀行業經營績效評估。陳奇平（2003）應用灰決策分析與熵值權重法來進行公司信用風險衡量與縣市競爭力分析，認為灰決策分析與熵值權重法適用於探索式的研究上，對於難以用專業技術判斷的領域，可以此法獲得決策分析的資訊。

2. 灰關聯分析

藍照鼎（2001）利用灰關聯分析，來進行都市市中心商業區特性指標之分類，建立了八大類市中心商業區都市特性指標集合，並進而劃分都市層級。徐偉鈞（2002）利用灰關聯分析與層級分析法（AHP）來進行山坡地開發總量與區位適宜性評估，利用灰關聯分析進行適宜性的排序。邱紹維（2003）制定一套新的水庫優養化程度及水質污染之綜合評價方法，利用灰關聯分析來進行水質等級之分級評估。

(三) 災害潛勢

1. 災害潛勢研究類型

災害潛勢是指災害現象發生後，可能引起之都市災害在空間的分佈情形、發生機率與受災程度。目前國內之災害潛勢研究中，主要評估的項目如表三：

表三 國內災害潛勢評估項目綜理表

災害類型	災害潛勢項目	
地震	直接災害	活斷層、土壤液化潛勢、山崩潛感。
	次生災害	震後火災危險潛勢、瓦斯管線災損評估、危險據點爆炸影響潛勢。
颱風豪雨	淹水潛勢、土石流潛勢。	
火災	火災危險度。	
其他	地層下陷。	

2. 災害潛勢相關研究

(1) 土壤液化潛勢

土壤液化的發生，主要是因為飽和疏鬆土層受地震力的作用，孔隙水壓上升，有效應力漸趨於零，使土壤由固態變成液態的現象，而造成土壤強度的降低（古志生，2001）。在土壤液化潛勢的評估中，大多是利用土壤液化潛能的評估來進行，雖然液化潛能指數與液化發生機率的物理意義並不相同，但在沒有其他更適用，且為工程界和學術界接受的評估方法前，將液化潛能用來代表液化發生機率，是目前較常用的方法（葉錦勳等，2002）。但目前廣泛使用的土壤液化潛能評估方法，大多是由液化現場之案例調查，配合室內試驗後，所歸納整理出的經驗公式，加上進行土壤液化潛能評估時，是利用有限的鑽探點進行評估，在推算到整體空間中，可能會因為地區局部土壤等因素的不同而有誤差，因此其評估結果仍有許多的不確定性存在。

由於土壤液化的發生，將使液化地區建築物的基礎受到破壞，造成建築物的倒塌、傾斜或沈陷，若避難據點位於土壤液化的地區，在地震災害發生時，將有建築物倒塌、傾斜或沈陷的危險，因此有土壤液化危險的避難據點建築物，可以進行相關土壤的改良，及提供較大的室外開放空間，否則應該尋求更適合的避難據點。

(2) 淹水潛勢

淹水潛勢乃是利用對於降雨強度與雨量的設定，模擬降雨條件下，地區的淹水情形，來瞭解在大雨發生時，可能淹水的區域及淹水的高度，以便進行相關的救助或補強措施。但在淹水潛勢的模擬中，乃是針對設定的災害境況進行評估，加上常因資料的取得及技術的限制，會簡化許多的影響變數，例如下水道排水的影響、排水阻塞等，也造成模擬的結果，會與現實情況有所差距，且使用不同逕流模式與模擬方法，也會造成不同程度的偏差，因此在使用來評估避難據點之安全性，將會存在不確定性。

(3) 震後火災危險度

震後火災危險度係指發生一場火災的機率，以及一旦發生火災，其對於生命財產所造成之可能損害（李達志，2001）。其中震後火災，係指伴隨著地震發生而引發之火災，在國內震後火災認定的標準，大多將震後火災定義為，震後七日內災區所發生的火災。

評估震後火災危險度的方法有很多種，包含點計畫法、邏輯樹分析、

層級分析法（AHP）、機率型模式、模擬模式與統計型模式等（李達志，2001），國內目前較常採用的是統計型的模式，也就是利用地震相關係數，與震後火災發生之分佈與特性，所建立之統計模式。

（4）危險據點影響潛勢

危險據點影響潛勢主要是指地震發生後，引發存放易燃或易爆物質之場所，發生爆炸起火，所造成之影響。都市的危險據點主要是指加油站、儲油槽、儲氣槽、瓦斯行及化學工業據點等，具有高度危險性的場所，危險據點在平時就應保持高度的警戒，在災害發生時更應密切的注意；若避難據點鄰近危險據點的影響範圍，則避難據點應進行調整，或另行規劃相關措施來減輕災害損失。

目前災害潛勢研究多將其影響情形，以空間資訊來進行展現，因此規劃者可以利用這樣的資訊，來作為避難據點等規劃之參考，但在不同之災害潛勢影響之考量下，仍難以評估其影響程度之差異，造成規劃者仍難以判斷避難據點之適宜情形，因此需建立一套可行之評估準則與方式，幫助規劃者進行規劃評估，分析出避難據點之可能災害影響，藉以進行減災方案，加強避難據點在災害發生時之安全性。

三、研究設計

本研究將避難據點適宜性評估分成兩個部分，第一個部分是利用避難據點規劃準則的建立，作為避難據點面積規模與交通條件設置的最小標準，且剔除位於難以利用工程方法改善之嚴重災害潛勢地區的避難據點，篩選出可以規劃指定的待選據點。第二個部分則將待選據點利用熵值權重法與灰關聯分析，來進行待選據點的適宜性評估，藉以瞭解各待選據點的優劣狀況，以作為規劃之參考。

（一）研究方法

由於避難據點的影響指標涉及層面廣泛，尤其是安全性指標群之指標，乃是土木、水利等領域中，專門研究所得之評估結果，若利用一般專家問卷（如AHP等）求取權重，容易因為專家對於與其專長領域不同的指標瞭解不足，難以全面性的瞭解並比較。再者，地震等災害事件，在台灣之研究記錄並不充份，災害事件對於避難據點之影響也充滿不確定，導致利用專家問卷所得之權重給分難以客觀化。而折衷權重法雖然將主觀與客觀權重都一起考量，但是折衷權重法對於主觀權重法與客

觀權重法，兩者求得的權重有明顯差異時，將造成不同屬性或指標，所表現出之權重難以解釋，造成分析上的困難。再者，任一災害對於避難據點所造成之影響，在不同地區都有不同損害，若統一使用由專家產生之權重，恐不易凸顯地區災害特性之影響；而客觀權重法乃依據資料數據所表現之現象與特性，來求取權重，對於地區之資料特性的凸顯表現較佳，且考量傳統灰關聯分析法，對於各評估因素採等權方式計算灰關聯度，無法顯現各評估因素之相對重要性，使得評選結果較不具客觀性。因此本研究中，將以客觀權重法中之熵值權重法（entropy）來求取灰關聯分析中的權重值 β_k 。

熵值權重法是屬於客觀權重法的一種，在Shannon and Weaver（1949）的「資訊理論」中，開始運用熵值的觀念。Hwang and Yoon（1981）首先將熵值應用於多屬性決策中，利用熵值求算多屬性決策中之屬性權重；而Yager（1995）則利用熵值來求取級距資料（ordinal data）的決策權重。熵值權重法是以各準則求算出之熵值，來說明該準則對整個決策狀況，所能傳遞之決策資訊的程度，也就是傳遞決策資訊的不確定程度，進而求算指標權重。熵值權重法可由資料本身所傳遞之資訊，來求得指標本身之權重，可避免決策者因為資訊的不足，造成權重評估的偏誤，導致分析結果的偏差；而灰關聯分析是灰色理論中，可以進行方案優劣排序的一種方法，透過標準化之程序，藉由有限的資料來排序方案，並可對事物的不確定性來進行處理。因此本研究將以灰關聯分析與熵值權重法來進行適宜性評估。

1. 熵值權重法

本研究參考陳協勝^{註1}（1992）對於熵值權重法之計算過程，來進行熵值權重的運算，其方法如下：

（1）計算評估矩陣表中 X_{ij} 的接近程度 d_{ij}

在評估矩陣表內，如一評估準則對各方案的得點（scores）差異越大，表示此準則的顯著差異強度（contrast intensity）越大。此外，因各個準則間的實際值之單位有所不同，故應先抽離單位，其方法是在同一準則中選出最大的績效值為理想點（ideal point），再把此一準則中的各個實際值除以理想點之值，即為各點距離理想點的接近 d_{ij} 度，且 d_{ij} 的值在0與1之間，其計算公式如下：

註1. 陳協勝（1992），〈模糊多準則決策應用在都市公車民營化方案評估之研究〉，成功大學交通管理研究所碩士論文，頁29-34。

$$d_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i^*} \dots\dots\dots (1)$$

其中 $X_i^* = \max_j X_{ij}$, $j=1, 2, 3, \dots, n$
 則 $0 \leq d_{ij} \leq 1$, X_{ij} : 第 j 個方案, 第 i 個指標的績效值。

(2) 將 d_{ij} 正規化成發生機率 P_{ij}

$$P_{ij} = \frac{d_{ij}}{D_i} \dots\dots\dots (2)$$

其中 $D_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$; $i=1, 2, 3, \dots, m$; $j=1, 2, 3, \dots, n$

則 $0 \leq P_{ij} \leq 1$

(3) 再將 P_{ij} 計算每一準則的熵值 e_i

$$e_i = -K \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

$i=1, 2, 3, \dots, m$; $j=1, 2, 3, \dots, n$

其中 K 為一正常數

因為 $0 \leq P_{ij} \leq 1$, 且 $K > 0$

故 $\ln P_{ij} \leq 0$, 且 $e_i \geq 0$

熵值 e_i 代表第 i 項準則所能傳遞決策資訊程度的不確定性。若設定準則可透露決策資訊的最大程度值 (即可完全傳遞決策資訊) 為 1, 最小程度值為 0, 則不確定性 e_i 值應為 0 至 1 之間。為了使 e_i 能介於 0 和 1 之間, K 值應取 H (資訊理論中的熵值) 最大值 (H_{\max}) 的倒數。而 K 值的計算如下:

當 $P_{ij} = 1/n$ (H 為最大時所發生機率分配為均一分配, $j=1, 2, 3, \dots, n$) , 則

$$H_{\max} = - \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} = - \sum (1/n) \ln (1/n) = \ln n \dots\dots\dots (4)$$

故 $K = 1/H_{\max} = 1/\ln n$

將 K 換成 $1/\ln n$ 代入 e_i 公式中, 可得 $0 \leq e_i \leq 1$

所以, 由此可知熵 (e_i) 值的特性為:

- A. 熵值越大代表第 i 項準則所透露的訊息越少。
- B. 熵值等於 1 時, 表示此準則沒有辦法傳遞資訊。

(4) 準則間相對權重 λ_i 之計算

在求取準則間相對權重之前，各準則傳遞能力的不確定性應先扣除，即扣除 e_i 值，故得出準則傳遞決策資訊的確定程度為 $(1 - e_i)$ 。爾後，再計算準則間的相對重要性（即權重 λ_i 值），其公式為：

$$\lambda_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^m (1 - e_i)} = \frac{1 - e_i}{m - \sum_{i=1}^m e_i} = \frac{1 - e_i}{m - E} \dots\dots\dots (5)$$

其中 $E = \sum_{i=1}^M e_i$ 為總熵值

$1 - e_i$ ：第 i 項準則所能透露決策資訊的確定程度。

$m - E$ ：全部準則所能透露決策資訊的總確定程度。

2. 灰關聯分析法

(1) 灰關聯係數

灰關聯係數定義如下（Deng 1986, 1989）：

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_i(k)} \dots\dots\dots (6)$$

其中 $X = \{x_i \mid i \in I, I = \{1, 2, \dots, m\}, m \geq 2,$

$x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), x_i(k) \in x_i,$

$k \in K, K = \{1, 2, \dots, n\}, n \geq 3$

x_0 為參考數列， x_i 為一特定之比較序列。

$\Delta_i(k) = \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ； x_0 和 x_i 之間第 k 個差的絕對值。

ζ ：辨識係數， $\zeta \in [0, 1]$ ，通常都使用0.5。

(2) 灰關聯度

當求得灰關聯係數後，傳統方式是取灰關聯係數之平均值為灰關聯度。

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \dots\dots\dots (7)$$

然而在於實際的應用上，各個因子的重要程度並不見得完全相同，因此溫坤禮等（2003）將其定義成：

$$\gamma(x_i, x_j) = \sum \beta_k \gamma(x_i(k), x_j(k)) \dots\dots\dots (8)$$

其中 β_k 表示指標k的常態化權重，由使用者決定，但必須滿足 $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ 。

(3) 灰關聯序

根據灰色理論的定義，傳統的灰關聯度是表示兩個序列的關聯程度，而且為定性的分析，因此最重要的訊息是各個關聯度之數值大小排序，也就是在參考數列 x_0 與比較數列 x_i 中：

$$x_0 = (x_0(k)) ; x_i = (x_i(k)) ; k=1,2,3,\dots,n ; i=1,2,3,\dots,m$$

如果 $\gamma(x_0, x_i) \geq \gamma(x_0, x_p)$ ，則稱為 x_i 對於 x_0 的關聯度大於與序列 x_p 對於 x_0 的關聯度，並且用 $x_i > x_p$ 表示，也稱為 x_i 與 x_p 之灰關聯序。

本研究之參考數列設定為各適宜性指標之理想值，於實證地區中，依據各指標之目標向量選取最大或最小值，作為本研究之參考數列。

(二) 避難據點規劃準則

由於各地區特性、防救災資源及災害經驗等因素皆有所不同，因此在研擬避難據點規劃準則有其限制。本研究考量相關防災文獻、經驗（李威儀與何明錦，2000；何明錦與黃定國，1997）、嘉義市地區特性及防救災資源（張益三與蕭江碧，2001；張益三與蕭江碧，2002）等因素，歸納並建立最小規模的避難據點規劃準則：

1. 避難據點總面積應大於1公頃。
2. 避難據點開放空間面積應大於2000平方公尺。
3. 應避免位於斷層帶周邊200公尺以內地區。
4. 避難據點應避免位於土石流等高危險潛勢地區。
5. 避難據點內，地形起伏不宜過大，應保持據點內動線之通暢。
6. 避難據點至少應接鄰一條12公尺以上道路。
7. 離危險據點直線距離大於150公尺。

(三) 避難據點適宜性評估指標

國內避難據點適宜性的考量上，多著重在避難據點的服務能力與相關設施的配合上，並未將災害潛勢的資料納入考量。本研究根據日本與台灣相關避難據點規劃與災害潛勢研究之方向，建立避難據點適宜性評估指標（如表四），在避難據點適宜性指標體系中，部分指標對於避難據點適宜性有正面效果，部分則有負面效果。

表四 避難據點適宜性指標選取說明表

分類	次要指標	文獻依據
接近性	與消防設施之最近距離	震後各類起火源與周遭環境間危險度評估之研究（熊光華與黃伯全，2002）
		都會地區地震後火災防制策略規劃研究（熊光華，2001）
	與醫療設施之最近距離	都市計畫防災規劃標準及管理體系之建構—以嘉義市為例研究（張益三與蕭江碧，2001）
有效性	可容納避難人口數	城鎮抗震防災規劃（高家富等，1995）
		都市計畫防災規劃作業之研究（何明錦與黃定國，1997）
		都市計畫防災作業手冊（李威儀與何明錦，2000）
		台北市防災避難場所之區位決策分析（張文侯，1997）
	開放空間比	從九二一震災探討都市防災避難據點之規劃建置（蔡緯芳，2003）
		都市計畫防災規劃作業之研究（何明錦與黃定國，1997）
有效服務半徑內之服務人口	城鎮抗震防災規劃（高家富等，1995）	
	台北市防災避難場所之區位決策分析（張文侯，1997）	
安全性	土壤液化潛勢	城鎮抗震防災規劃（高家富等，1995）
	淹水潛勢	学校の避難所利用における立地安全評価手法にする研究（佐藤隆雄與山田美由紀，1995）
		城鎮抗震防災規劃（高家富等，1995）
		都市洪災防治策略之整合型規劃研究（一）子計畫二：應用區位分派模式探討都市型水災避難系統規劃之研究（詹士樑與鄧慰先，2002）
	震後火災危險度	学校の避難所利用における立地安全評価手法にする研究（佐藤隆雄與山田美由紀，1995）
	危險據點影響潛勢	城鎮抗震防災規劃（高家富等，1995）

因此，本研究將各適宜性指標之目標向量整理如表五。影響避難據點規劃之因子主要分成三類，包含接近性、有效性及安全性，分別介紹如下：

1. 接近性

避難據點之接近性，係考量避難據點與其他防救災據點之關係，在避難據點之規劃上，應考量防救災之需求，將避難據點配置於能迅速聯繫其他防災據點之區位，方便獲得救災資源，發揮避難據點之功能。在避難據點的接近性指標群上，主要有與消防據點之最近距離、與醫療據點之最近距離。

2. 有效性

由於避難據點需提供大量避難人口來進行避難，避難據點在區位上的供給與需求能力成為考量的重點，其中避難據點本身應具備足夠的開放空間，有效的提供避難民眾之需求。由於地震災害發生後，據點內建築物之毀損與倒塌，容易造成據點內有效面積的減少，因此也需要將開放空間的比例納入考量，來衡量避難據點開放空間在災時的效用。最後，在避難據點的區位條件上，也應考量可服務的人口數，也就是區位的需求，來衡量避難據點區位的有效性，並藉此指定較具有服務效能的

表五 避難據點適宜性指標說明表

指標群	指標	指標說明	變數型態	目標向量
接近性	與消防設施之最近距離	避難據點與消防據點最短路徑之距離	連續變數	望小
	與醫療設施之最近距離	避難據點與醫療據點最短路徑之距離	連續變數	望小
有效性	可容納避難人數	開放空間面積除以3.6平方公尺*	連續變數	望大
	開放空間比	開放空間面積除以避難據點面積	連續變數	望大
	可服務人口數	避難據點500公尺內之人口數	連續變數	望大
安全性	土壤液化潛勢	土壤液化潛能值（SPT）	連續變數	望小
	淹水潛勢	淹水模擬結果之水位高度	連續變數	望小
	震後火災危險度	每百萬樓地板面積起火率	連續變數	望小
	危險據點影響潛勢	避難據點與危險據點直線距離	連續變數	望大

註：* 每人最小需求避難面積上，參考國內外之相關研究，最後採用張益三（2002）考量國外經驗、國內921經驗與避難場所帳棚使用面積所研究之結果，每人最小需求避難面積為3.6平方公尺。

據點。在避難據點的有效性指標群，包括有效服務半徑內之服務人口、可容納避難人口數及開放空間比。

3. 安全性

避難據點之安全性主要是考量避難據點之災害潛勢狀況，避免災害發生時避難據點受到災害波及而失效，或是在避難期間遭受二次災害或是其他災害影響，造成更大的傷亡。受於資料取得之限制，主要考量目前國內已有的災害潛勢研究資料，因此在避難據點安全性指標群包括土壤液化潛勢、淹水潛勢、震後火災危險度、危險據點影響潛勢等指標。

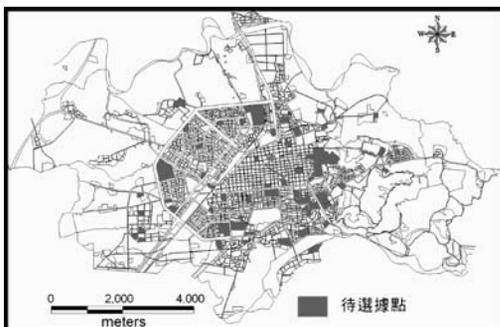
四、實證研究

本研究以嘉義市為實證地區，針對嘉義市之避難據點來進行適宜性評估，在災害設定上，則以梅山斷層地震為預設災害，並考量台灣多颱風豪雨的氣候特性，以24小時降雨總量600公釐的洪水災害，作為預設二次災害事件，模擬在這樣的災害情勢下，避難據點的適宜性。

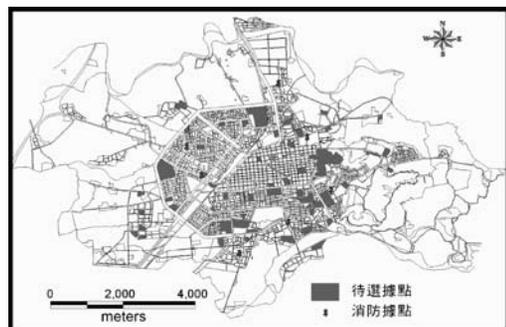
(一) 屬性資料建立

利用本研究所建立之避難據點規劃準則，篩選出嘉義市可作為避難據點指定之待選據點共63處，其空間分佈如圖一。

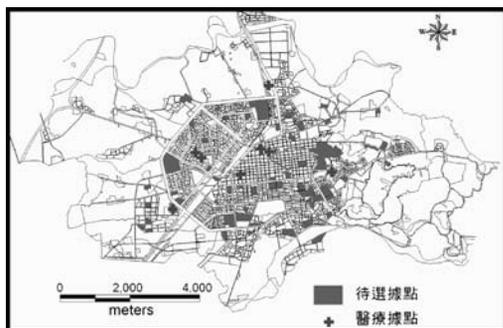
本研究利用地震災害潛勢與避難據點之空間屬性資料（如圖二、三、四、五、六、七、八及表六），進行避難據點適宜性評估。在原始資料上，主要係以都市計畫圖、航測地形圖、農林版航照圖等，與張益三與蕭江碧（2001）；張益三、許茂雄、葉



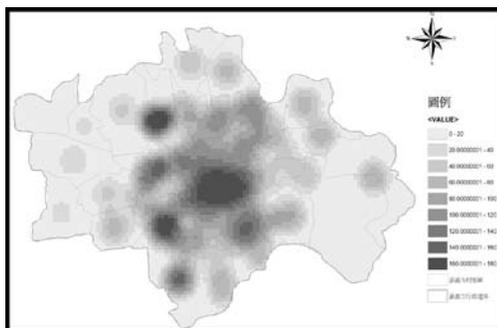
圖一 嘉義市待選避難據點分佈示意圖



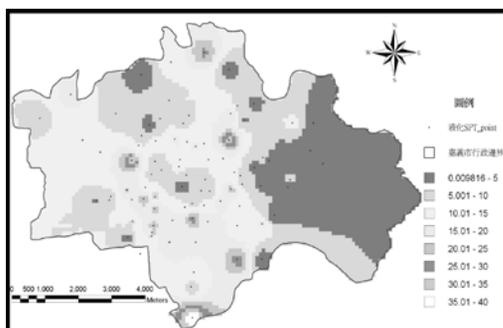
圖二 嘉義市消防據點分佈示意圖



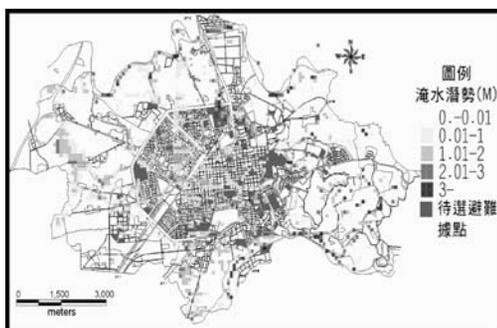
圖三 嘉義市醫療據點分佈示意圖



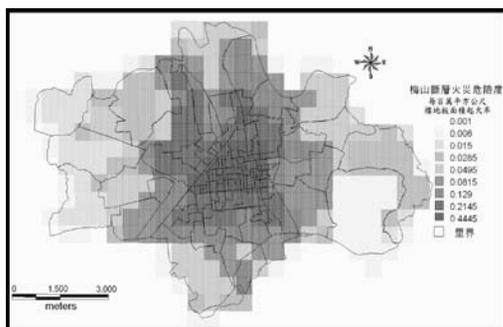
圖四 嘉義市人口分佈示意圖



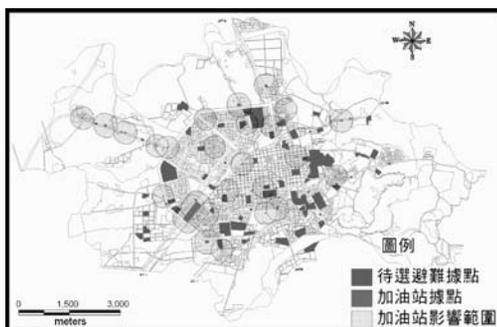
圖五 嘉義市土壤液化潛勢示意圖



圖六 嘉義淹水潛勢示意圖



圖七 嘉義市火災危險度示意圖



圖八 嘉義市危險據點分佈示意圖

資料來源：1. 張益三、許茂雄、羅俊雄與葉永田等（2003）。
2. 本研究整理繪製。

表六 待選避難據點可容納人數綜理表

單位：人

編號	據點名稱	可容納人口數	編號	據點名稱	可容納人口數	編號	據點名稱	可容納人口數
1	嘉義公園	9670	22	嘉華中學	4012	43	玉山國中	6006
2	崇文國小	1891	23	蘭潭國中	2686	44	育仁國小	3342
3	大同國小	1558	24	林森國小	7421	45	僑平國小	9062
4	垂楊國小	1265	25	精忠國小	5057	46	世賢國小	6328
5	嘉義女中	1961	26	崇仁護校	1171	47	嘉大附小	1246
6	文小14	9515	27	文小24	7540	48	公10	1775
7	嘉義家職	1481	28	立仁女中	1267	49	公3	8596
8	宣信國小	1376	29	文中10	1231	50	228和平紀念公園	5382
9	民族國小	1900	30	興嘉國小	1354	51	運公1	1029
10	華南商職	1515	31	嘉義大學 民生校區	1499	52	公25	1235
11	嘉義大學 林森校區	1136	32	民生國中	9357	53	運2	6116
12	北興國中	1153	33	志航國小	7789	54	嘉義高工	10045
13	博愛國小	1040	34	輔仁中學	9965	55	公33	8049
14	文小4	8567	35	文小21	2667	56	公4	9938
15	嘉義市立 棒球場	1034	36	文中9	1314	57	公14	9997
16	大同商專	1167	37	北園國中	8893	58	興嘉公園	3738
17	東吳高工	1127	38	北園國小	6343	59	公31	5572
18	南興國中	1184	39	文高2	3781	60	市立運動公園	1504
19	嘉義高中	9886	40	文小11	5028	61	中正公園	1245
20	蘭潭國小	4490	41	文中5	6294	62	嘉義市立體育場	1110
21	嘉義高商	9402	42	文小18	5614	63	市立文化中心	1090

永田與羅俊雄等（2003）中各組之研究成果及嘉義市之人口資料，另外在工具上則主要是利用GIS套裝軟體ArcGis 8.0與MapInfo等，來求取各待選據點之適宜性指標屬性。

在熵值權重求取的部分，是將9項指標與63個據點之適宜性屬性，利用公式（1）至（5）來計算9項指標之熵值權重值，而此熵值權重值亦可作為計算灰關聯度時指標的常態化權重（ β_k ），其結果如表七。

在避難據點之灰關聯分析中，主要是將各避難據點之屬性的灰色生成結果（如表八），與各避難據點適宜性指標，利用熵值權重法求算的結果權重，以灰關聯分析法來進行各避難據點之灰關聯度的計算，其中辨識係數設定為0.5，結果如表九。為了方便表示避難據點適宜性，本研究依據避難據點灰關聯分析排序結果，將其適宜性以空間分佈方式呈現如圖九所示。

本研究所建立的適宜性評估方式，可以瞭解各避難據點的優劣情形，也可以藉由避難據點適宜性指標，去檢視避難據點的問題，幫助規劃者進行避難據點的指定，與研擬未來進行整備的方向。由適宜性分析結果得知，目前嘉義市舊市區避難據點適宜性較差，原因可能是舊市區之避難據點面積較小，且受火災危險潛勢影響較為嚴重，加上一一般在舊市區之中，人口密集且避難需求較大，為因應這些避難需求，勢必需要配置所需的避難據點。因此，在未來防災規劃中，應考慮災害潛勢的補強與改善措施，避免災害發生時，造成不幸；屬於較適宜的避難據點則由於面積較大，本身服務能力佳，使得適宜性較高，但是仍需考量災害潛勢的影響，適度的進行減災規劃，才能整備出安全且適宜之避難據點。

表七 各項指標權重表

指標群	指標	熵值權重（ β_k ）	權重排序
接近性指標	與消防設施之最近距離	0.0958	4
	與醫療設施之最近距離	0.0880	5
有效性指標	可容納避難人數	0.2317	1
	開放空間比	0.0146	9
	可服務人口數	0.1954	2
安全性指標	土壤液化潛勢	0.0781	7
	淹水潛勢	0.0801	6
	震後火災危險度	0.1412	3
	危險據點距離	0.0750	8

表八 避難據點適宜性屬性灰色生成結果表

編號	據點名稱	安全性				接近性		有效性		
		土壤 液化	淹水 潛勢	加油站 距離	火災 危險度	消防設 施距離	醫療設 施距離	開放 空間比	可服務 人口	可容納 人口
1	嘉義公園	0.6949	0.0000	0.6169	0.5529	0.8329	0.6487	0.8663	0.9584	0.7331
2	崇文國小	0.8508	0.7500	0.8398	0.0000	0.6385	0.7244	0.4619	0.0956	0.0910
3	大同國小	0.4806	0.7500	0.6788	0.5529	0.5148	0.8093	0.5690	0.0587	0.0734
4	垂楊國小	0.6515	0.7500	0.9213	0.5529	0.6734	0.8322	0.5188	0.0262	0.0699
5	嘉義女中	0.5981	0.7500	0.9395	0.0000	0.5919	0.8013	0.5669	0.1034	0.1271
6	文小14	0.4094	1.0000	0.5441	0.5529	0.3917	0.7499	0.1667	0.9413	0.0000
7	嘉義家職	0.3346	0.5000	0.6220	0.0000	0.5940	0.6704	0.3736	0.0501	0.0757
8	宣信國小	0.6515	0.5000	0.6358	0.5529	0.6916	0.5605	0.5793	0.0384	0.0884
9	民族國小	0.6444	0.5000	0.7058	0.0000	0.6036	0.7048	0.6575	0.0966	0.0944
10	華南商職	0.4201	0.7500	0.7647	0.0000	0.7335	0.7241	0.2419	0.0539	0.0683
11	嘉義大學 林森校區	0.7508	0.5000	0.6140	0.5529	0.9431	0.6289	0.4235	0.0119	0.1105
12	北興國中	0.6088	0.5000	0.8696	0.0000	0.7555	0.6073	0.6364	0.0138	0.1066
13	博愛國小	0.4984	1.0000	1.0000	0.7584	0.3609	0.6372	0.6208	0.0012	0.0978
14	文小4	0.5803	1.0000	0.8179	0.5529	0.5714	0.6073	0.1667	0.8361	0.0247
15	嘉義市立 棒球場	0.0000	0.5000	0.6577	0.5529	0.7854	0.7280	0.3237	0.0006	0.2366
16	大同商專	0.6088	1.0000	0.3576	0.5529	0.7974	0.6408	0.5797	0.0153	0.1360
17	東吳高工	0.9840	1.0000	0.5528	0.5529	0.6039	0.5914	0.4777	0.0109	0.0272
18	南興國中	0.7059	1.0000	0.4800	0.5529	0.6162	0.5299	0.6504	0.0171	0.0481
19	嘉義高中	0.6230	0.7500	0.5965	0.7584	0.7016	0.9364	0.6134	0.9824	0.2994
20	蘭潭國小	0.5340	1.0000	0.8551	0.8726	0.4427	0.8724	0.9168	0.3839	0.1078
21	嘉義高商	0.8394	0.7500	0.8653	0.5529	0.8848	0.7216	0.3664	0.9288	0.0563
22	嘉華中學	0.9206	0.7500	0.3729	0.8726	0.3817	0.4560	0.7165	0.3309	0.0924
23	蘭潭國中	0.8911	1.0000	0.1479	0.9495	0.3201	0.5283	0.7902	0.1838	0.1449
24	林森國小	1.0000	1.0000	0.5921	0.8726	0.7869	0.4385	0.4511	0.7090	0.0287
25	精忠國小	0.7786	1.0000	0.4960	0.9495	0.3348	0.0479	0.7726	0.4467	0.0621

表八 避難據點適宜性屬性灰色生成結果表(續)

編號	據點名稱	安全性				接近性		有效性		
		土壤 液化	淹水 潛勢	加油站 距離	火災 危險度	消防設 施距離	醫療設 施距離	開放 空間比	可服務 人口	可容納 人口
26	崇仁護校	0.5091	1.0000	0.1639	0.9495	0.1976	0.5620	0.5920	0.0157	0.0363
27	文小24	0.5696	0.7500	0.0794	0.7584	0.6564	0.5278	0.1667	0.7222	0.0366
28	立仁女中	0.9185	0.5000	0.3882	0.7584	0.8408	0.2874	0.8626	0.0264	0.2191
29	文中10	0.7152	0.7500	0.5776	0.5529	0.6406	0.5108	0.1667	0.0224	0.0547
30	興嘉國小	0.6088	0.7500	0.6387	0.5529	0.5189	0.5517	0.9086	0.0361	0.0989
31	嘉義大學 民生校區	0.4557	0.7500	0.4690	0.5529	0.6382	0.6042	0.7342	0.0521	0.3575
32	民生國中	0.4628	0.7500	0.5404	0.7584	0.5602	0.4997	0.6839	0.9237	0.0805
33	志航國小	0.4343	0.7500	0.5550	0.7584	0.8373	0.4462	0.6064	0.7497	0.0464
34	輔仁中學	0.4984	1.0000	0.3897	0.7584	0.8915	0.3145	0.6713	0.9912	0.2405
35	文小21	0.3809	0.7500	0.3081	0.8726	0.0812	0.5275	0.1667	0.1817	0.0357
36	文中9	0.2029	1.0000	0.1107	1.0000	0.0293	0.4876	0.1667	0.0316	0.0389
37	北園國中	0.6230	0.7500	0.6795	0.9495	0.5371	0.5172	0.8327	0.8723	0.1264
38	北園國小	0.6159	1.0000	0.5557	0.9495	0.6148	0.5116	0.7285	0.5894	0.0687
39	文高2	0.7572	0.5000	0.7123	0.8726	0.6933	0.6274	0.1667	0.3053	0.1295
40	文小11	0.7476	0.7500	0.6431	0.8726	0.7303	0.5741	0.1667	0.4436	0.0290
41	文中5	0.4557	0.7500	0.5819	0.8726	0.7523	0.6505	0.1667	0.5840	0.0614
42	文小18	0.4272	0.7500	0.8769	0.8726	0.6954	0.9094	0.1667	0.5086	0.0280
43	玉山國中	0.4379	1.0000	0.7400	0.7584	0.6678	0.9794	0.7905	0.5520	0.1182
44	育仁國小	0.5233	1.0000	0.7101	0.9495	0.0076	0.7221	0.8200	0.2565	0.0624
45	僑平國小	0.6159	1.0000	0.7983	0.5529	0.8675	0.8901	0.7472	0.8910	0.0692
46	世賢國小	0.7850	1.0000	0.7451	0.9495	0.8687	0.7447	0.6906	0.5878	0.0705
47	嘉大附小	0.7433	0.5000	0.7429	0.0000	0.8607	0.7334	0.6141	0.0241	0.0954
48	公10	0.6123	0.5000	0.9111	0.0000	0.5904	0.8039	0.7500	0.0828	0.0338
49	公3	0.5269	0.0000	0.5186	0.5529	0.6242	0.6320	0.7999	0.8394	1.0000
50	228和平紀 念公園	0.5055	1.0000	0.0000	0.7584	0.7766	0.8809	1.0000	0.4828	0.0259

表八 避難據點適宜性屬性灰色生成結果表（續）

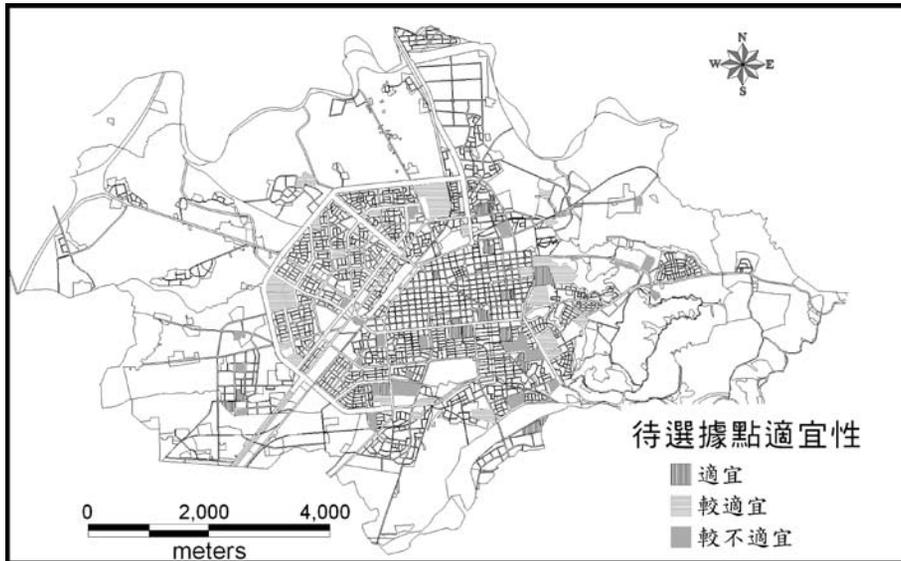
編號	據點名稱	安全性				接近性		有效性		
		土壤 液化	淹水 潛勢	加油站 距離	火災 危險度	消防設 施距離	醫療設 施距離	開放 空間比	可服務 人口	可容納 人口
51	運公1	0.5589	0.0000	0.9534	0.7584	0.5998	0.0000	0.7999	0.0000	0.2143
52	公25	0.8914	0.5000	0.7225	0.7584	0.8241	0.5875	0.7500	0.0229	0.1041
53	運2	0.9274	0.7500	0.1857	0.7584	0.6972	0.5188	0.0000	0.5642	0.0579
54	嘉義高工	0.8786	1.0000	0.1173	0.5529	1.0000	0.6619	0.5471	1.0000	0.3660
55	公33	0.4735	1.0000	0.5419	0.8726	0.0000	0.4632	0.7500	0.7786	0.0478
56	公4	0.4699	1.0000	0.7458	0.7584	0.6347	0.2998	0.7500	0.9881	0.0608
57	公14	0.6123	0.5000	0.5171	0.0000	0.8420	0.8240	0.7500	0.9947	0.0625
58	興嘉公園	0.6372	1.0000	0.6744	0.5529	0.6130	0.6032	0.8948	0.3004	0.0269
59	公31	0.6444	0.5000	0.5681	0.8726	0.2228	0.6472	0.7500	0.5039	0.0602
60	市立運動 公園	0.4628	0.7500	0.6599	0.8726	0.6781	0.7059	0.9093	0.0526	0.3679
61	中正公園	0.6479	0.7500	0.5645	0.0000	0.4946	1.0000	0.9370	0.0240	0.0330
62	嘉義市立 體育場	0.4308	0.5000	0.4916	0.5529	0.7625	0.6032	0.8790	0.0090	0.1975
63	市立文化 中心	0.6266	0.7500	0.8973	0.5529	0.7080	0.7288	0.3761	0.9933	0.9346

表九 避難據點灰關聯分析結果

編號	據點名稱	個別灰關聯度 (γ)	排序	編號	據點名稱	個別灰關聯度 (γ)	排序
1	嘉義公園	0.4532	63	33	志航國小	0.6384	21
2	崇文國小	0.6699	11	34	輔仁中學	0.5763	39
3	大同國小	0.6365	23	35	文小21	0.5374	51
4	垂楊國小	0.6299	26	36	文中9	0.5453	49
5	嘉義女中	0.6637	12	37	北園國中	0.5124	59
6	文小14	0.5720	41	38	北園國小	0.6706	10
7	嘉義家職	0.7145	2	39	文高2	0.7404	1
8	宣信國小	0.6334	24	40	文小11	0.5137	56
9	民族國小	0.6780	9	41	文中5	0.5402	50
10	華南商職	0.7000	5	42	文小18	0.5634	43

表九 避難據點灰關聯分析結果 (續)

編號	據點名稱	個別灰關聯度 (γ)	排序	編號	據點名稱	個別灰關聯度 (γ)	排序
11	嘉義大學 林森校區	0.6322	25	43	玉山國中	0.5598	44
12	北興國中	0.7039	4	44	育仁國小	0.5473	47
13	博愛國小	0.6367	22	45	僑平國小	0.6101	31
14	文小4	0.5508	46	46	世賢國小	0.6510	17
15	嘉義市立 棒球場	0.6473	19	47	嘉大附小	0.6384	20
16	大同商專	0.6286	28	48	公10	0.5521	45
17	東吳高工	0.6591	14	49	公3	0.5276	54
18	南興國中	0.6588	16	50	228和平 紀念公園	0.6166	29
19	嘉義高中	0.4847	60	51	運公1	0.5125	58
20	蘭潭國小	0.5467	48	52	公25	0.5134	57
21	嘉義高商	0.5158	55	53	運2	0.6955	6
22	嘉華中學	0.5818	38	54	嘉義高工	0.7075	3
23	蘭潭國中	0.6066	33	55	公33	0.4593	62
24	林森國小	0.5333	53	56	公4	0.5906	36
25	精忠國小	0.6019	34	57	公14	0.6928	8
26	崇仁護校	0.6950	7	58	興嘉公園	0.6150	30
27	文小24	0.5756	40	59	公31	0.5647	42
28	立仁女中	0.6286	27	60	市立運動 公園	0.4714	61
29	文中10	0.6591	13	61	中正公園	0.5895	37
30	興嘉國小	0.6588	15	62	嘉義市立 體育場	0.5367	52
31	嘉義大學 民生校區	0.6101	32	63	市立文化 中心	0.5991	35
32	民生國中	0.6510	18				



圖九 避難據點適宜性評估結果圖

五、結 論

本研究嘗試以多準則決策方法中之灰關聯分析與熵值權重法，輔以地理資訊系統分析，建立都市防災避難據點之適宜性評估方法，除考量避難據點之立地條件外，也將災害潛勢影響加入，輔以修正及檢討現有都市防災避難據點之規劃，避免災變發生時，防災避難據點無法發揮避難功能，導致民眾的生命遭受剝奪，也讓防災避難據點的規劃能夠更加的合理及安全，使災害的損失能降至最低。綜合研究過程提出以下結論：

- (一) 避難據點之規劃，除考量避難據點之服務能力與區位條件外，也應該考量災害潛勢之影響。本研究提供一套可行之方法來幫助規劃者評估避難據點之優劣排序情形，讓規劃者在進行避難據點規劃時，能夠針對可用避難據點進行評估，瞭解據點在災害發生時，受災害潛勢影響的情形，事前進行選擇與補強，提升避難據點在災時之可用性。
- (二) 本研究於避難據點規劃中，建立避難據點適宜性評估指標體系，並將避難據點適宜性評估視為一多準則決策問題，利用灰關聯分析與熵值權重來進行避難據點適宜性評估。
- (三) 嘉義市避難據點適宜性評估結果顯示，嘉義市舊市區之避難據點適宜性較

差，其主要原因為避難據點之服務能力低，及受火災與爆炸危險影響較為嚴重，在未來嘉義市避難據點之規劃整備中，應適當給予補強，並配置防火阻隔帶、防爆牆、劃設避難圈域，配置合適之避難據點，來滿足舊市區之避難人口需求。

- (四) 避難據點適宜性評估結果，可提供地方政府在震害發生前，有適當的工具研判災情，以利各級防救災單位，做出迅速的應變作為，減少民眾生命財產的損失。

參考文獻

- 古志生 (2001)，〈CPT 土壤分類與液化評估之研究〉，成功大學土木工程研究所博士論文。
- 何明錦、黃定國 (1997)，《都市計畫防災規劃作業之研究》，台北：內政部建築研究所。
- 佐藤隆雄、山田美由紀 (1995)，〈学校の避難所利用における立地安全評価手法に関する研究〉，《1995 年日本建築學會大會學術演講概要集》，頁 357-360。
- 李佩瑜 (2000)，〈由鄰里單元觀點探討震災時救災避難圈之規劃〉，成功大學都市計畫研究所碩士論文。
- 李威儀、錢學陶 (1999)，《從都市防災系統檢討實質空間之防災功能—(二) 學校、公園及大型公共設施等防救據點》，台北：內政部建築研究所。
- 李威儀、何明錦 (2000)，《都市計畫防災作業手冊》，台北：內政部建築研究所，頁 14。
- 李達志 (2001)，〈震後火災起火危險度評估之研究〉，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
- 邱紹維 (2003)，〈灰關聯分析於水庫水質綜合評判之研究—以翡翠及石門水庫為例〉，中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 林楨家、謝瓊慧 (2003)，〈以覆蓋模式分析震災臨時避難場所之配置規劃〉，《都市與計劃》，第 30 卷，第 4 期，頁 325-345。
- 吳華權 (2003)，〈都市地區道路系統耐震性評估及緊急避難場所區位選擇之研究—以南投市都市計畫區為例〉，長榮大學土地管理與開發學系研究所碩

士論文。

- 徐偉鈞（2002），〈由環境及設施容受力探討山坡地總量管制之研究—以台北縣汐止市為例〉，成功大學都市計劃研究所碩士論文。
- 高家富、葉耀先、劉志剛、陳壽梁、吳英健、鍾益村、梁發雲、韓精忠等（1995），《城鎮抗震防災規劃》，台南：台灣復文興業股份有限公司，頁 147。
- 陳協勝（1992），〈模糊多準則決策應用在都市公車民營化方案評估之研究〉，成功大學交通管理研究所碩士論文，頁 29-34。
- 陳奇平（2003），〈灰決策與灰聚類應用模式之建立與研究—以公司信用風險衡量、縣市競爭力分析與招生評比為例〉，銘傳大學管理科學研究所碩士論文。
- 陳錦芬（2001），〈台灣地區銀行業經營績效評估—熵權方法與灰色關聯度分析法之應用〉，銘傳大學財務金融學系研究所碩士論文。
- 葉錦勳、謝旻諺、羅俊雄（2002），〈土壤液化潛能分析〉，《國家地震工程中心簡訊》，第 42 期，頁 1-3。
- 張文侯（1997），〈台北市防災避難場所之區位決策分析〉，台灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
- 張益三、蕭江碧（2001），《都市計畫防災規劃標準及管理體系之建構—以嘉義市為例研究》，台北：內政部建築研究所。
- 張益三、蕭江碧（2002），《地方層級都市防災規劃與改善管理計畫之研擬—嘉義市都市防災避難空間系統規劃示範計畫》，台北：內政部建築研究所。
- 張益三、許茂雄、葉永田、羅俊雄等（2003），《嘉義市防救災示範計畫成果報告（II）》，台北：行政院國家科學委員會。
- 詹士樑、鄧慰先（2002），《都市洪災防治策略之整合型規劃研究（一）—子計畫二：應用區位分派模式探討都市型水災避難系統規劃之研究》，台北：內政部建築研究所。
- 溫坤禮、黃宜豐、張偉哲、張廷政、游美利、賴家瑞（2003），《灰關聯模型方法與應用》，台北：高立圖書有限公司。
- 熊光華、黃伯全（2002），《震後各類起火源與周遭環境間危險度評估之研究》，台北：行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 熊光華（2001），《都會地區地震後火災防制策略規劃研究》，台北：內政部建築研究所，頁 179。
- 蔡柏全（2002），〈都市災害防救管理體系及避難圈域適宜規模之探究—以嘉義市為例〉，成功大學都市計劃研究所碩士論文。

- 蔡綽芳 (2003), <從九二一震災探討都市防災避難據點之規劃建置>, 《都市防災及山坡地災害防治研討會論文集》, 頁 5-1~5-35。
- 鍾佳欣 (2004), <都市舊市區緊急性避難據點之區位配置研究>, 國立成功大學都市計劃研究所碩士論文。
- 戴政安 (2005), <永康市居民避難行為特性與緊急避難據點配置之研究>, 長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文。
- 藍照鼎 (2001), <以灰色關聯模式分析不同層級都市市中心商業區之特性>, 交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- Shannon, C. E. and W. Weaver (1949), *The Mathematical Theory of Communication*, Urbana: Univ. of Ill. Pr.
- Deng, J. L. (1986), *Grey Forecasting and Decision*, Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press.
- Deng, J. L. (1989), "Control Problems of Grey Systems," *System and Control Letters*, 1 (1) : 288-294.
- Hwang, Ching-Lai and K. Paul Yoon (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.
- Owen, S. H. and M. S. Daskin (1998), "Strategic Facility Location a Review," *European Journal of Operational Research*, 11: 423-447.
- Yager, Ronald R. (1995), "An Approach to Ordinal Decision Making," *International Journal of Approximate Reasoning*, 12: 237-261.
- Silva, F. and D. Serra (2003), *Location Emergency Service With Priority: The Priority Queuing Covering Location Problem*, España: Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa Lleida.