

題目：應用風險投資組合理論於都市土地使用決策之研究：以地震災害為例

計畫主持人：周士雄

共同主持人：施鴻志

計畫參與人員：林宣儀

摘要

土地使用風險管理是一個強調能夠建立有效考量潛在自然災害損失與土地開發利益之間替換效果的決策機制，藉以決定出可因應災害風險的積極性土地使用策略。本研究以地震可能引發災害為例，透過實證地區之土壤液化災害為個案研究，建構一個綜合考量災害風險評估、土地使用以及反映民眾風險認知等資訊的多準則決策方法，目的即在於提出具有相對風險效益優勢的土地使用組合方案。

關鍵字：地震風險、風險認知、土地使用、多準則決策分析

ABSTRACT

Risk management for land use is a decision making mechanism which can efficiently evaluate the trade-offs between the losses due to potential natural hazards and the benefits of land development. With this mechanism, the aggressive strategies on land use can be drawn up to respond to natural hazard risks.

This study focuses on the earthquake hazard and conducts a case study by analyzing the hazard of soil liquefaction happening in the study area. In this case study, a multi-criteria decision making method considers: risk assessment, land use and public risk perception. It is constructed to propose a set of land use programs that have relatively advantaged benefit over risk.

Keywords: Earthquake risk, Risk perception, Land use, MultiCriteria Decision Analysis

壹、前言

綜觀過去有關都市災害的研究，多以規劃的供給面與管制面來探討防災的措施，對於因應災害風險屬性所提出比較積

極性的災害控制策略則較少涉及。土地使用規劃乃重要的防災計畫項目之一，雖然對災害敏感地區進行嚴格的發展管制，可以避免人類遭受到災害發生時的衝擊，但過度的規劃管制仍有造成土地資源利用浪費的疑慮。善用風險理念並據以提出適當的土地使用決策，使能在最小成本的考量下，達到損失最小化的目標，或者達到資源最有效使用的目標，不僅是都市民眾的期望，也是都市防災規劃的最重要目標。

從規劃目標來看，都市土地使用應該考量公眾安全，因此對於潛藏著各種包含自然與人為的可能災害情境的都市，應該有較嚴格管制的土地使用計畫；然而，就土地資源的有效利用層面而言，適當強度的開發利用則有助於都市之成長。二者之間存有價值替換的決策課題。

貳、研究目的

針對上述課題，本研究提出一個能夠綜合考量災害風險評估準則、適當土地開發型態以及公眾風險減緩認知的多準則決策方法論，以整合災害風險條件與土地使用，為都市規劃者提供一個較客觀的土地防災規劃方法。

參、文獻探討

綜觀與本研究相關之重要理論與文獻，茲以各種重要之理論領域區分說明如下：

一、地震災害風險評估

在相關的研究中，施鴻志（1988）曾提出都市災害的風險分析架構，並據以劃定都市災害地區，其觀點係以一般民眾的災害風險意識為主；災害的危險度評估則能夠深入探討災害的屬性，並瞭解其嚴重的程度，例如地震災害（陳亮全，1989；洪李陵，

1991)、居住環境火災(謝國正, 1988)、山坡地開發計畫之風險評估(呂義豐, 1991)等。此外,林建元(1993)亦曾針對山坡地開發災害風險進行負擔合理化的探討,丁育群(1999)從保險制度之建立探討山坡地的開發管理,都是國內走向災害風險管理的重要研究。

過去 20 年的新的範疇強調社會性涵構與事件衝擊之間的相關性。社會科學研究即是對於自然與社會間的互動有一種新的看法,強調都市不再只是災害的承受者(接受端),在這種社會科學領域中,處理都市的傷害性與衝擊的因果關係的因子,與地震本身一樣重要。如此,都市的社會、政治、經濟與文化特徵也是都市地區傷害性的重要成份(Albala-Bestrand, 1993; Blaikie et al., 1994; Burton, Kate, and White, 1993; Hewite, 1983; Kreimer and Manasinghe, 1992; Varley, 1994 等)。整體而言,工程界的地震損失估計模式為地震風險評估的整體性工作提供了一個量化、客觀的方法,它傳遞了分佈於區域內的期望破壞與經濟損失的資訊。此項工作逐漸結合社會與經濟等層面的考量,而出現綜合性的風險評估模式,例如美國聯邦危機管理署(FEMA)所提出的 HAZUS 即是近來最重要的一個地震風險評估模型,國內學術界也將此模型修正為 Haz-Taiwan,成為現階段地震災害評估(包括建築物損害、經濟損失等)的重要工具。

二、風險減緩效益與認知

人們願意支付(willing to pay, WTP)自我保險與自我防護以減低風險並保護其免於可能的災害,他們的 WTP 通常視其對於安全所給的價值而定。因此,個體衡量所給予安全的價值,通常是在於所決定增加安全的願意付費;換句話說,人們以防護上的自我付費作為損失機率增加的因應之道(McClelland et al., 1993)。理論上,WTP 的衡量通常是以效用理論來檢視,並已經足夠用於許多案例中

(Jones-Lee, 1976; Anderson and Dillon, 1980),但是,這個理論可能無法回答一些問題,例如,「拯救生命的願意付費的衡量,特別是那些解除焦慮的價值」(Weinstein, Shephard, and Pliskin, 1980)。因此,理論研究所無法充分表達的一些 WTP 衡量導致了經驗為主的調查研究的必要性,Camerer and Kunreuther (1989)認為「調查與經驗能夠協助分析低機率事件之決策程序以及設計更有效的公共政策」。

透過風險認知(risk perception)與溝通的方法,災害風險研究也進入人們看待與回應風險的社會層次。在研究方法的採用上,顯示性偏好(revealed preference)與表達性偏好(expressed preference)是兩個重要的研究方法(Smith, 1996)。此外,「心理量表」的使用也可以獲得人們做出關於各種災害風險及其管理程度的量化判斷(Slovic, 1987)。認知驅使公眾行動,專家因而必須將公眾的觀點納入他們的考量之中,並且接受公眾認知在他們決策中的重要性(Kasper, 1980)。本研究為使能在決策過程中反應都市民眾所需求的風險減緩程度,因此透過問卷調查瞭解民眾對於地震風險的認知以及因應此風險所願意付出之代價。

肆、研究方法

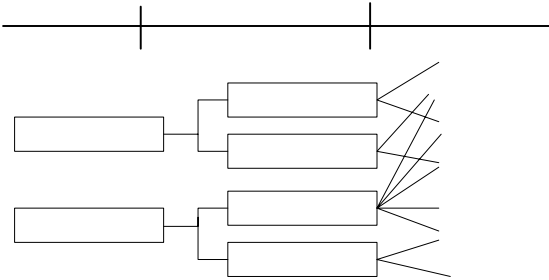
本研究關注於具有地震危險地區內的土地使用型態,亦即,地震危險地區內各土地利用單元的可能土地開發型態若可獲得,則決策問題就在於選擇出可以滿足決策者的目標與企圖的一種土地使用方案,這通常有兩個主要的目標:最大化土地利用淨利益以及最小化風險成本。為達成此目的,本研究建立「多準則決策分析(MCDA)」方法論來進行,包含以下重要的部分:

一、建立決策目標體系

透過土地使用規劃來考量災害風險與土地使用利益,所追求的目標也應該

是風險最小化與開發利益最大化的效果，如此才符合風險效益最大化的總目標。因此，本研究將決策目標分為兩大部分，包括土地使用利益最大化與土壤液化災害風險最小化，其所建立之決策準則與變數如表一所示。

表一 目標體系表



二、決策評估

在決策目標體系架構下，包括兩項目標、四項準則與七項變數將被檢視。決策程序如下：

(一) 決定土地使用方案

發展一個替代性土地使用計畫的第一個步驟就是將研究區分解為數個部分，並且考慮適合於每個部分的各種土地使用，區域內的每塊基地都能夠根據預先決定的許多土地開發型態（Land Development Type）中的一種被開發，這些開發型態可能是所有基地都一樣，也可能每個基地有其自己的替代性開發型態的組合。一旦每個基地都被指派一特定的土地開發型態，則分析地區的土地使用形式（Land Use Pattern）也被決定。可能的土地使用形式的總數形成了所有替代方案的集合：

1. 研究區被分為 M 個方格單元，以 j 代表方格，則 $j=1,2,3...M$ 。
2. 對每個方格 j 而言，許多的土地開發型態以規劃考量為基礎來定義，本研究設定包括商業、住宅與工業等三種都市計畫中最主要的發展型態，作為隱含高度、中度與低度的都市機能強度；表一的各個變數將被用來特徵化這些土地開發型態。 m_j 表示第 j 個方格的可能

土地開發型態的數目， k_j 表示第 j 個方格的土地開發型態的索引。

3. 當每一個以及全部 M 個方格的土地開發型態被決定時，研究區中的土地使用形式 k_j 也被建立。如此，替代性土地使用形式的數目 N 為：

$$N = \prod_{j=1}^M m_j$$

(二) 估計準則值

表一的各項準則被用來衡量每個替代方案滿足決策目標的程度，其範圍可界定出決策問題的「後果空間」。通常，一個替代方案是由後果向量 $c[I \times 1]$ 來特徵化，用以量化 I 準則在替代方案中的評價：

1. 評估準則被決定，例如，最小化由於土壤液化事件所引起的死亡、最大化土地開發的淨利益等。以 I 來代表評估準則，則 $i=1,2,3...I$ 。
2. 對每個方格 j 而言，每個可能的土地開發型態 k_j 的每個評估準則 i 的值被建立。在所提的方法中，所有 (i, j, k_j) 的期望後果 $c(i, j, k_j)$ 的值被建立。
3. $C(i, j, k) = \sum_{m=1}^M C(i, j, k_j)$ 假定相鄰方格中的土地開發型態間沒有相互影響的效果，則一個特定土地使用形式（亦即，每個方格 j ，其土地開發型態 k_j 已經被定義的地方）的後果 i 可由下式得到：

由於接受評估的方案具有空間性，必須考量到研究區域的網格單元組合。由 M 個方格單元組成的方案 j 的後果 i 值的評估方法如下：

準則 1 土地開發利益

$$C_{1i} = \sum_{m=1}^M [(v_{km}^1 + v_k^2) * \alpha_{km}]$$

其中， m 代表網格； k 代表土地使用型態（ $k=1,2,3$ ；分別表示商業、工業與住宅）； α_{km} 為網格 m 之各使用類型的面積； v_{km}^1 為網格 m 之各使用類型的單位面積地價， v_k^2 代表單位面積土地生產值（商業與工業為產值，住宅為所得）。

決策目標 決策準則

土地開發

土地使用效益 土地開發

經濟

液化災害風險

準則 2 土地開發成本

$$C_{2i} = \sum_{m=1}^M [(v_k^3 + v_{km}^4) * \alpha_{km}]$$

其中， v_k^3 為各使用類型的單位面積房屋建造成本； v_{km}^4 為網格 m 之各使用類型的風險減緩成本。

準則 3 經濟風險

$$C_{3i} = \sum_{m=1}^M [v_m^5 (v_k^3 + v_k^2 + v_k^6) * \alpha_{km}]$$

其中， v_m^5 為網格 m 之土壤液化災害機率； v_k^6 為各土地使用類型的單位面積可運用資產。

準則 4 生命風險

$$C_{4i} = \sum_{m=1}^M [(v_m^5 * v_k^7) * \alpha_{km}]$$

其中， v_k^7 為各土地使用類型的單位面積聚集人口。

本研究採用標準化技術 (standardization technique) 將四個準則的衡量單位進行轉換，使其可以在相同的基礎上呈現出大小的程度，轉換方式如下：

$$C_{ij}^* = C_{ij} / \min.[C_{ij}]$$

C_{ij}^* 為相對準則得點； C_{ij} 為原始準則值。

(三) 決定最佳解

將所設定的土地使用規劃作為多目標決策問題後，替代方案的數目通常是非常大的。為減輕後續規劃妥協法運算的負擔，我們利用以下之優勢原則 (dominant principle) 來篩選方案：

1. 若 G_{Lj} 相同，則選擇具有最小 G_{Rj} 之方案；
2. 若 G_{Rj} 相同，則選擇具有最大 G_{Lj} 之方案。

經過優勢原則篩選後的方案，進行最佳解的計算。利用妥協規劃法的距離矩陣運算公式，找出兩個目標績效表現最佳的方案。在本研究中，對於反映各方案值與理想解間變異的重要性的參數 p ，採用 Simonovic (1989) 的建議，設定 $p=2$ (也

$$L_j = \left[W_1^2 \left| \frac{g_1^* - g_{1,i}}{g_1^* - g_{1,w}} \right|^2 + W_2^2 \left| \frac{g_2^* - g_{2,i}}{g_2^* - g_{2,w}} \right|^2 \right]^{1/2}$$

就是利用最短的直線距離)。如此，本研究用來獲得最佳解的距離方程式為：

其中： L_j 是距離值矩陣； w_1 與 w_2 分別是第一目標與第二目標的權重值； g_1^* 與 g_2^* 分別是第一目標與第二目標的最佳值； $g_{1,w}$ 與 $g_{2,w}$ 分別是第一目標與第二目標的最差值； $g_{1,j}$ 與 $g_{2,j}$ 分別是方案 j 的第一目標與第二目標的績效得點； j 代表優勢方案， $j=1,2,\dots,J$ ；

經由上式計算所得到的所有方案的 L_j 值，取最小者即為最佳方案解。

三、風險減緩價值估計

本研究以土壤液化災害風險減緩的部分，進行研究地區之風險認知調查。透過估計特徵價格之方法，估計民眾在已知災害可能發生的各種機率與所假設後果情境的最大願付價格 (WTP)。在參數估計後，建立資料配適度較佳的居民 WTP 函數，來估計居民對於購買地震災害風險的評價。

所設定地震風險減緩管理措施的對象是家戶，因此採成家戶的問卷，在影響地震風險減緩願付價格的影響因素上，也以家戶基本屬性與認知屬性為主。從理論層面，變數的選取必須包含居民的基本屬性及其對環境風險的認知態度 (洪鴻智，1997)。因此，本研究設定願付價格函數的自變數共計 6 項，因變數則是風險減緩措施之願付價格。所建立之願付價格函數形式如下：

$$WTP_i = \alpha_0 + \alpha_1 A_i + \alpha_2 B_i + \alpha_3 C_i + \alpha_4 D_i + \alpha_5 E_i + \alpha_6 F_i + \varepsilon$$

式中， WTP_i 代表第 i 個 ($i=1,2,\dots,N$) 受訪者的願付價格， α_0 代表常數項， α_j ($j=1,2,\dots,6$) 代表各自變數之係數， A 為家戶年所得， B 為家戶成員數， C 為受災經驗， D 為災害嚴重性認知， E 為家戶住所受災可能性認知， F 為支持政府其他之風險減緩措施， ε_i 為隨機誤差項。

過去以特徵價格法形式所進行的許多

WTP 研究，大都是採用簡單線性函數，此種函數形式較為簡單，然而這種作法乃是主觀地認定自變數與因變數之關係為線性，可能無法滿足最佳的資料配適結果。因此本研究另外採用 Box and Cox (1964) 提出之 Box-Cox 轉換來處理函數形式。它是使用最大概似法 (Maximum Likelihood, ML) 將自變數與因變數做某種適當的轉換，再做一次估計，以選擇最適的函數形式。

伍、結果與討論

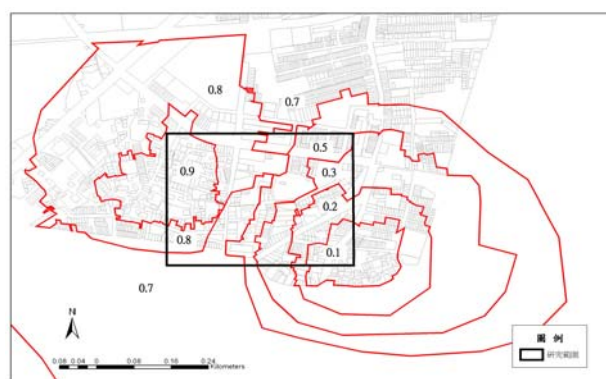
一、土壤液化災害評估結果

本研究以陳怡睿等人 (2002) 之研究所建構的方法，配合嘉義地區地質鑽探資料以評估土壤液化發生的潛在機率。經運用因子分析之主成分萃取法進行因素縮減後所建構之土壤液化潛勢指數 (ILP) 簡易評估模式為：

$$ILP = -24.77 - 0.53(F_1) + 7.42(F_2) + 0.57(F_3) + 0.74(F_4)$$

其中， $F1$ 代表土層應力相關因素主成因值，主要包括土層深度 (D_s) 與有效覆土應力 (σ) 兩項因子； $F2$ 代表環境效應因素主成因值，包括地震規模 (M) 與地表最大加速度 (a_{max}) 兩項因子； $F3$ 代表現地土壤特性量測因素主成因值，包括平均粒徑 (D_{50}) 與標準貫入試驗 ($SPT-N$) 兩個因子； $F4$ 代表土層特性因素主成因值，由細料含量 (F_c) 與地下水位 (D_w) 組成。

所評估出來之液化潛勢指數，再利用邏輯迴歸分析 (Logistic Regression Analysis) 轉換為液化機率。此一液化機率值僅針對在某一深度下之土層進行液化機率判定，然危險性隨液化土層之深度、厚度及危險性而定；因此，再採用 Juang *et al.* (1999) 提出之深度加權法來計算總液化危險機率。結果如圖一所示。



圖一 土壤液化災害機率分佈圖

二、願付價格估計結果

在問卷調查項目中，提出「購買地震災害保險」以對抗土壤液化災害，依各種土壤液化災害發生機率 (從 0.1 以下到 0.8 以上的 9 種程度)，分別判斷在該災害機率情況下他們所願意支付的最大成本。地震災害保險係以每 100 萬元保額的保險費來考量，WTP 調查資料所建構最佳函數模型並非簡單線性模型或對數模型，各個災害機率分別有其經過 Box-Cox 轉換的適當 θ 及 λ 值所建立之模型形式。所估計各災害機率程度下之 WTP 值如表二所示。

表二地震保險 WTP 估計結果 單位：元

機率	0.1 以下	0.1 至 0.2	0.2 至 0.3	0.3 至 0.4	0.4 至 0.5	0.5 至 0.6	0.6 至 0.7	0.7 至 0.8	0.8 以上
WTP	633	866	1041	1254	1564	1887	2164	2613	3069

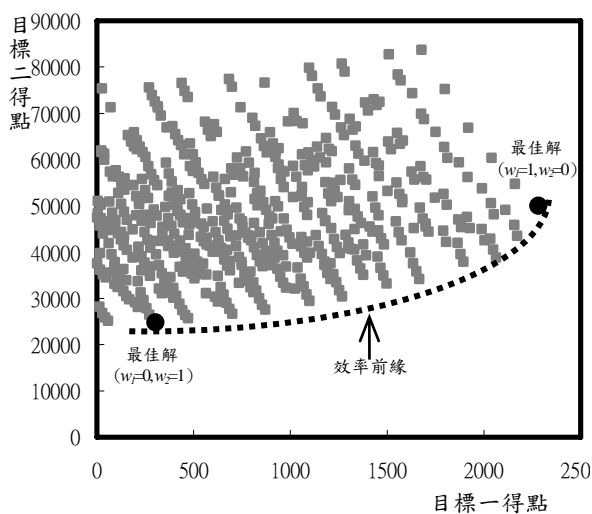
三、土地使用決策結果

依所建立決策目標體系中之變數，進行研究地區之各項資料蒐集。各項基礎資料來源主要包括現地調查、「91 年度嘉義市工商及服務業普查」與「91 年嘉義市統計要覽」等，配合研究區之都市計劃建蔽率與容積率規定進行換算。

(一) 不考慮風險減緩措施情況之決策

本研究以 100m*100m 為網格單元進行評估，總計將研究地區劃分為 12 個網格單元，形成總替代方案數為 531,441 ($=3^{12}$) 的決策空間。由兩個目標得點所構成的決策空間分佈與位於效率前緣之方案，如圖二所示。依此空間多準則決策之評估結

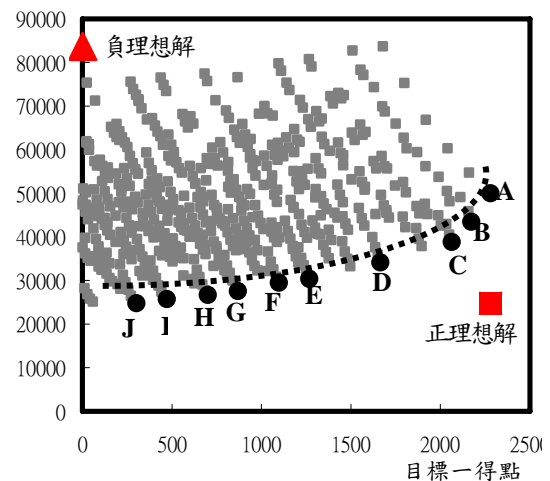
果，符合優勢原則的方案數已經大幅度減少至 547 個，其中又僅有 10 個方案位於效率前緣，參見圖三，此即相對於其他方案而言是較佳的。換言之，決策者應該在這 10 個方案中選擇出最後方案，才能符合效率原則。其中，在兩個目標權重值（土地使用效益 w_1 ，災害風險 w_2 ）分別為 (1,0) 與 (0,1) 的情況下，前者所代表的是一種完全以土地使用效益為導向的土地使用策略，後者則是完全以災害風險為導向的土地使用策略。評估結果如表三所示。



圖二 各優勢方案在決策空間之分佈

(二) 考慮風險減緩措施情況之決策

假定各類型土地進行開發前均必須購買地震保險，也就是說屬於強制性保險的狀況。為考慮不同保險策略的效果，本研究將以建物價值的百分比作為保險金額，規定不同的保險下限。假設有三種保險策略的實施：



圖三 位於效率前緣的效率解分佈

表三 極端權重值決策下之評估得點值

方案評估項		完全開發考量 ($w_1=1$ 、 $w_2=0$)	完全風險考量 ($w_1=0$ 、 $w_2=1$)
目標	土地使用效益 (得點)	2280.80	302.36
	災害風險 (得點)	50034.75	24794.97
標準則	土地使用利益 (萬元)	416,632.13	256,132.08
	土地使用成本 (萬元)	234,609.90	166,194.00
	經濟風險 (萬元)	470,254.86	267,680.68
	生命風險 (人)	1373.00	541.00

策略一：現行地震保險措施

本項策略設定條件為各類型土地開發前都必須購買地震保險，且保險金額為 120 萬元，保費以本研究所推估之民眾 WTP 來換算。

策略二：中度保障策略

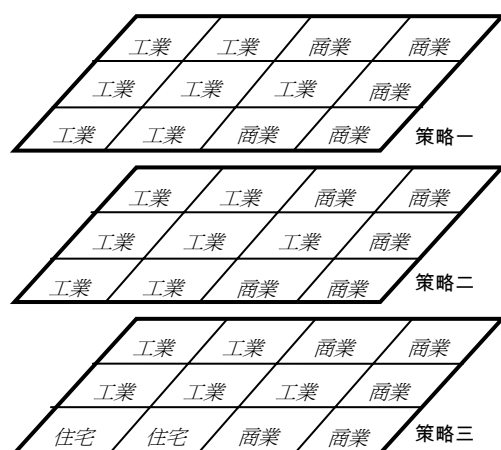
所設定的保險額度為建築物價值之 50%，也就是以所開發建築物建造成本的 50% 作為保險金額的下限。

策略三：高度保障

以保險額度為建物價值之 100% 作為高度保障的程度，在這個策略下，如果建築物發生損壞，將獲得建築物價值的全部理賠。

本研究假設以一年的保險費率來運算，引用所推估民眾購買保險的願付價格水準，各土地使用型態的可能保費支出與其所能允許的建築樓地面

積與建物單位造價有關。根據各土地使用型態的房屋建造成本 (v^3)，配合民眾的 WTP 調查結果，可計算各災害機率分佈空間中的每 100 萬元保障下的保險費。在沒有考慮任何目標偏好的情況下（也就是兩個目標的權重均為 1），將前述保險成本與保險利益的值分別計算並投入到空間多準則決策模式中，可以得到使用三種保險策略的最佳土地使用方案，如圖四所示。在三種保險策略的引用下，結果只出現兩種形式的土地使用配置。屬於現行措施與中度保障的保險策略，所獲得的土地使用形式完全相同；只有保險額度高達 100% 建物價值的策略時，土地使用形式有所變化。



圖四 各種保險策略下之最佳土地使用

四、結論與建議

本研究各階段所獲致的重要結論與建議如下：

- (一) 利用地理資訊系統的網格形式做為空間資料分析的單位，透過使用 JAVA 語言所撰寫的風險效益評估程式，將地理資訊系統的網格形式轉換為線性的數列組合形式，使其適合直接進行多準則決策分析的各種方法。
- (二) 探討地震災害風險的主要目的是在

提供土地使用規劃上的參考，重點在於能夠掌握不同地理空間上的風險差異。因此，採用比較性風險分析 (comparative risk analysis) 的方法使我們得以分析一個地區的地震災害風險空間分佈情形，找出具有相對較高風險的地點。

- (三) 在決策分析模式中加入一項民眾風險認知的變數，也就是以各種機率條件下對地震保險措施的願意付費來代表。這種在決策過程融入居民意見的方案評選，有助於因應災害風險狀況而調整土地使用型態；或在既定土地使用型態下附加開發條件限制時，也能夠獲得使用者的支持。
- (四) 地震風險受到許多災害的影響，包括地表震動、土壤液化、斷層破裂、山崩、海嘯等直接災害。由於研究區並無發生斷層破裂、山崩、海嘯等災害的條件，因此並未在本研究中考慮。如果應用於具有多種地震災害發生條件的地區，應該再納入個別災害的評估方法，計算出災害發生的機率。
- (五) 研究中所建立之決策分析模式屬於一個靜態模式，各項風險成本與開發利益僅以一年的總值來計算，適用於計畫年期較短的土地使用管理。欲建構一個適合計畫年期較長（例如 10 年以上）決策評估模式，建議以年為單位，一方面應該考慮隨著時間的演進來累積災害機率值；另一方面，在地震重現期之前因土地利用所累積獲得的利益以及每年投入風險減緩措施的累積成本，都應該納入評估。

陸、計畫成果自評

本研究計畫已完成全部計畫提案之內容，在預期成果上的達成包括建立考量災害風險之土地使用決策程序的建構、民眾對於災害風險減緩價值的量化並納入決策程序、土地開發方案之效率前緣曲線的決

定、研究區的土地使用方案圖等，均於研究結果中提出。本研究計畫屬於應用研究，主要是將風險學理與都市土地使用規劃實務進行結合，此種理念不僅具有學術發表的價值，在實務上也可提供都市地區在進行災害風險管理的土地使用決策過程的方法論，期能在整合風險評估與公眾認知的結果下，做成符合風險效益的土地使用決定。整體而言，對於都市土地使用利益與風險間的衝突課題，提供了一個有根據的決策機制。

參考文獻

1. 丁育群，「山坡地災害防救基金與保險制度之研究（一）」，內政部建築研究所（1999）。
2. 呂義豐，「山坡地開發計劃風險評估」，國立臺灣工業技術學院工程技術研究所營建工程組碩論（1991）。
3. 洪李陵，「地震危害度新模式之研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告（1991）。
4. 洪鴻智，「可能性理論與模糊數學在環境風險—效益分析之應用」，台大城鄉研究所博士論文（1997）。
5. 施鴻志，「都市防災與土地使用規劃」，國科會專題研究報告（1988）。
6. 陳怡睿、楊登成、李東屏、邱彥智、紀雲曜，「邏輯迴歸模式評估土壤液化潛勢之研究」，2002 年液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會論文集（2002）。
7. 陳亮全，「都市地震災害危險度簡易評估之研擬」，內政部建築研究所籌備小組研究計畫成果報告（1989）。
8. 謝國正，「居住環境火災風險度評估架構之研究」，國立成功大學建築研究所碩論（1988）。
9. Albala-Bertrand, J.M., *The Political Economy of Large Natural Disasters with Special Reference to Developing Countries*, Oxford: Clarendon Press, 1993.
10. Anderson, J. R., Dillon, J. L., and Hardaker, B., *Agricultural Decision Analysis*, Ames, LA: Iowa State Press, 1980.
11. Blaikie, P., Terry C., Ian, D. and Wisner, B., *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, London: Routledge, 1994.
12. Burton, I., Robin, W.K., and White, G.F., *The Environment as Hazard*, 2nd ed. Revised, New York: Guilford, 1993.
13. Camerer, C. F., and Kunreuther, H., Decision Processes for Low Probability Events: Policy Implication, *Journal of Policy Analysis and Management*, No.8(4), pp.565-592, 1989.
14. Hewitt, K. ed., *Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology*, Winchester, Massachusetts: Allen & Unwin, 1983.
15. Jones-Lee, M.W., Hammerton, M., and Philips, P. R., The Value of Safety: Results of a National Sample Survey, *The Economic Journal*, No.95, pp.49-72, 1985.
16. Kasper, P. G., Perceptions of Risk and Their Effects on Decision Making. In *Societal Risk Assessment: How Safe is Safe Enough?*, edited by Richard C. Schwing and Walter Albers. New York: Jr. Plenum Press, 1980.
17. Kreimer, A., and Munasinghe, M., *Environmental Management and Urban Vulnerability*, World Bank Discussion Papers, No.168, Washington D.C.: World Bank, 1992.
18. McClelland, G. H., Schulze, W. D., and Hurd, B., The Effect of Risk Beliefs on Property Values: A Case Study of a Hazardous Waste Site, *Risk Analysis*, No.10(4), pp.485-497, 1990.
19. Simonovic, S. P., Application of Water Resources Systems Concept to the Formulation of a Water Master Plan, *Water International*, Vol.14, pp.37-50, 1989.
20. Slovic, P., Perception of Risk, *Science*, 236: 280-285, 1987.

21. Smith, K., *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, Routledge, London, 1996.
22. Smith, V. K., Benefit Analysis for Natural Hazards, *Risk Analysis*, No.6, pp.325-334, 1986.