

颱風損害之綜合評估：模糊多準則評估法之應用

洪鴻智**

論文收件日期：八十九年十二月三十日

論文接受日期：九十一年一月十日

摘 要

傳統颱風損害之評估存在兩個主要之課題，第一個課題為傳統對颱風之損害評估多偏向單損害項目與單地區之評估，缺乏跨區域、多項目及能處理不同資料型態的多準則綜合評估方式。另一個課題為颱風損害評估與資料蒐集過程常發生的資訊不充足、不確定與主觀判定之困境。本文之目的在引入模糊理論，建立多準則颱風損害綜合評估模型，以改善傳統颱風損害評估模式的不足。文中以近年台灣六個主要颱風損害為案例，以建立的模型，估計各颱風之綜合損害及各颱風在各縣市的綜合損害，估計結果發現資料所隱含之模糊度愈高，所估計之颱風災害損害程度愈低；相對地，隱含之模糊度愈低則估計之損害程度愈高。代表災害損害估計過程如忽略資料的粗略性，將嚴重扭曲損害估計之成果，可能高估高損害程度之颱風損害，而低估低損害程度颱風之損害。

關鍵詞：災害，颱風，不確定性，模糊集合，環境風險，多準則評估

* 感謝兩位匿名審查委員的寶貴建言，使本文能更臻完善，惟文責仍由作者自負。

** 國立台北大學地政學系副教授，E-mail: hung@mail.ntpu.edu.tw

A Comprehensive Evaluation on Typhoon Damage: Using Fuzzy Multicriteria Evaluation Method

Hung-Chih Hung

ABSTRACT

Conventional evaluation methods on typhoon damage are mainly focused upon mono-item or mono-area, rather than deal with comprehensive damage estimating for multi-items, multi-typhoon or multi-areas. Furthermore, it is usually suffered from the information insufficiency, uncertainty, and subjective judgment while proceeds with the data surveying and damage estimating on typhoon. To the purpose of mitigating these two problems, the main purpose of this paper is to establish a multicriteria comprehensive model using fuzzy set theory, and employ this model as an instrument to evaluate six recently major typhoon damages in Taiwan as a case study. The items in the case study that include two aspects: (1) the comprehensive damage degree evaluating of each typhoon, and (2) the damage geographical distribution estimating in each prefecture/city for each typhoon. It is found that the damage estimation shows where as the potential fuzziness within surveying data increases, as the less of an estimating damages degree, and vice versa. These results represent that if estimator ignores the potential roughness within surveying data in damage estimating process, then the evaluation of damage will be distorted. Therefore, it will be more overestimated the damages, while greater the typhoon damage exposes. In the other hand, will it more underestimate the damage, while which the less the typhoon damages.

Keywords: hazards, typhoon, uncertainty, fuzzy sets, environmental risk, multicriteria evaluation

一、前言

在921集集大地震、象神與納莉颱風相繼襲台後，使社會不得不面對自然災害每年為台灣地區帶來之巨大災害及損害。因為自然災害之損害，不但是台灣最大與最常見之社會經濟損失之一，亦是防災計畫評估的重要課題。其中颱風災害為台灣主要之自然災害損害源，然以往對颱風災害損害之評估，多偏重在單一地區之農業損害、人員傷亡等「單項」個別評估。事實上颱風損害會涉及多項社會經濟投資（包括建物、公共設施等）、農作等之損害，而非單一地區或單一項目之損害。另外災害損害評估的資訊，常具有不同的資料型態，傳統多只能就單一種損害資料個別討論，而缺乏有效的資料整合方法。所以如何建立一套合理且具系統性之綜合評估方法，同時評估跨地理區域、多損害項目與多資料型態或多颱風的「綜合」災害損害，乃災害損害估計的重要課題。故本文之目的，即欲建立颱風損害綜合評估模式，助於解決此課題。

建立颱風災害損害評估綜合模式之另一重大課題，在於對災害「損害」界定之模糊，使評估之過程益顯複雜 (Petak and Atkisson, 1982)。颱風損害程度研判過程，查報人員須在短時間內綜合評估與通報各項損害之程度，彙整之後，再交由決策者作為救災投入參考。惟常因資訊不充分與損害程度的主觀研判爭議，使評估成果存在含糊空間，造成資訊誤判與救災資源之錯誤配置。

傳統災害綜合損害評估法中，主要引用之方法包含：1.以成本損害分析將各項損害貨幣化^{註1}，再以加總方式評估 (Perry and Stubbs, 1998)；2.將各評估項目正規化(normalization)後加權平均，直接對災害損害進行估計。然此兩類方法對難以貨幣化、質化或存在資訊模糊之資料，便難合理且有效率的進行評估 (McAllister, 1980, 140-143)。因此就災害損害評估的需求而言，亟需發展出可同時處理難以貨幣化、可量化、模糊資訊與貨幣化，甚至可融入質化指標的綜合評估法，方能有系統且更真實呈現自然災害損害特性。

從颱風損害評估之內容與決策需求之角度，須對各項建物、農作、設施或維生管線的損害程度有深入之瞭解，方能精確的進行評估 (Song *et al.*, 1996)，因而資料蒐集的精確度成為評估成效判定的重要關鍵。然對災後損害相關資料之蒐集，在颱風救災行動中，決策者常需在極短的時間內研判各地或歷次颱風損害狀況，以提

註1. 成本—效益分析或成本損害評估乃災害損失估計較精確方法之一，惟此種方法須有完整與明確的資訊，估計過程須花費龐大的時間與調查成本，對於防災所需的即時決策可能緩不濟急。

出對應之救災策略。故如何引入能易於計算、迅速與能處理資訊不充分且具綜合性之颱風損害評估工具，為災害損害評估方法需開發的方向。

基於傳統災害損害評估方法的不足與自然災害損害評估的需求，本文將引用模糊集合理論(fuzzy set theory)，建構颱風損害評估模型，並以台灣近年過境之 6 個主要颱風為例，估計其災害損害。從評估結果發現，模糊多準則評估模型，可有效的評估颱風損害，不但可估計颱風多損害項目之綜合損害，且可瞭解颱風損害的區位分布，對於救災決策支援有極大之幫助。以下本文之結構，第二節為回顧颱風災害之風險與損害估計之相關文獻，及歸納傳統颱風或自然災害損害評估方法所面對的課題；第三節說明模糊多準則颱風損害評估模型建立的程序；第四節為實證分析結果之說明；最後一節為結論與建議。

二、颱風災害之風險與損害評估

傳統自然災害損害評估，雖引入成本損害估計法，但多停留在片段性評估之階段，且未能克服因資訊不充分與調查不充足所引發的不確定性問題（熊光華等，1997）。傳統估計災害損失主要方法論引用的代表者，包含：1.美國西南佛羅里達州區域規劃委員會曾利用成本損害估計法估計颶風造成的損失，評估之方式與項目，係將土地使用模式、風速與建物型態納入估計之影響要素，藉以建立損害成本估計模型，再以此進行颶風災害的貨幣損失估計；2.美國國家建築科學研究所(NIBS)與Michael Baker公司亦分別發展出「確定型模型(deterministic model)」之關聯模組，結合地理資訊系統與土地使用模式建立估計模型，用以估計不同強度颶風與洪水，對不同型態建物結構、維生管線與社會經濟的損失(Geenwood and Hatheway, 1996; Boswell *et al.*, 1999)。除此之外，此類自然災害損害估計的相關方法論與模組，尚有HAZUS系統估計地震損失(Bendimerad, 2001)，及我國引入估計地震損害之HAZ-Taiwan系統(Hung *et al.*, 2000；陳亮全等，2001)，皆屬於確定型模型的自然災害損害估計模式。

上述兩類估計自然災害損失或損害的方法，雖能較精確與完整的估計颶風、地震等經濟損失，然須有完整的資料庫系統支援，且須花費非常長的時間進行資料蒐集，此特性對於須短時間、人力與物質資源不足的地方政府或救災單位常有緩不濟急的缺失，故如何以較簡易的資料，迅速與系統性的估計災害損害，為重要的方法論建立檢討方向。

颱風災害損害程度的估計，須由查報者迅速針對各地受災的程度進行彙整，作為下一步救災資源投入的參考。一般對所謂颱風損害「強度」的認定，就所引發之損害而言，主要依建物、公共設施、農作等之損害程度而定。惟所謂「損害程度」，因欠缺調查與判定標準，形成調查之損害認定常因人、因地而異，例如建物倒塌程度判定(判定全倒或半倒)、颱風強度(如中度、輕度颱風的判定)、農業損失估計(嚴重、不嚴重與輕微之判定)、公共設施損害程度之界定等^{註2}，皆包含查報者主觀與不確定的特性在內，此不但成為傳統成本損害估計難以解決之問題，且造成損害估計之偏誤(Boswell *et al.*, 1999; Deyle and Smith, 2000)。

從上述之說明，可知損害估計重要課題之一為資訊不確定性與風險問題的處理。目前對隱含不確定性或風險事件之損害評估法，多習於將某一特定風險水準或發生特定災害損害程度的機率分配)配上特定之損害價格或成本之方式，估計災害損害，亦即藉由許多推測或依過去的經驗蒐集，以加權平均方式評估災害成本或損失^{註3}(Barlow and Glover, 1990; Federal Emergency Management Agency, 1997; Hung *et al.*, 2000)。此方法雖能處理風險成本估計之問題，但對於損害成本影響因素或成本分配型態不確定或無法掌握時，便難有效進行估計。

另一處理不確定性問題的方法係藉由推測學習模式，就所獲得的資訊作有限理性或習慣領域(habitual domain)的決策判斷，俟決策的結果產生後再進行啟發性的評估，以對先前的評估進行逐步修正(Shi and Yu, 1989; Sarin, 2000)。惟對環境風險或自然災害之損害評估，因所涉及之條件過於複雜且因所握有資訊之不充足，致啟發學習的評估過程常發生過度自信、象徵性(representative)判斷等問題(Tversky and Kahneman, 1982)，造成判斷過於主觀或不符時效。另因影響天然災害所引發之損害，除災害本身之特質外，尚包含人類主觀、價值判斷與其他之複雜社經影響因素。故災害損害評估具有複雜之社會網絡特質，而難以直覺判斷模式評估災害損害水準(洪鴻智，1997)，而亟須引入能處理不確定性的其他損害評估方法。

傳統損害估計對於人為主觀判斷的處理，多利用語意變數法(linguistic variable

註2. 農委會、氣象局、前省農林廳等相關單位公佈之颱風損害災資料，為各地方政府在短時間內所回報之概估數據，常因時間與人力所限，且過程常需許多主觀判斷過程，故此等資料可能隱含「不精確」、「粗略」與「不確定」之特性。

註3. 如美國FEMA(Federal emergency management agency)評估地震直接經濟損失之方式，即以「各類建物(或維生管線)損失風險的機率分配×損失成本=直接經濟損失」的方式估計(Hung *et al.*, 2000)。

method), 將災害損害之程度直接賦予權重^{註4}或直接以含糊之說明替代, 而忽略判斷內容所隱含許多颱風損失的有用資訊(Zadeh, 1975; Wilson, 1991, 195-202; Federal Emergency Management Agency, 1997; 馮正民、呂秀玉, 1997)。此等問題之解決, 隨資訊科技、人工智慧及模糊集合論被廣泛應用, 而發展出可解決含糊觀念的數學工具。尤其對資訊不充足、主觀與缺乏明確判定標準之事件, 模糊集合論皆是非常有效的處理工具。藉由模糊理論的應用, 可將短期內所蒐集之有限颱風損害資訊迅速整合, 提出綜合性的損害指標, 以助於災害損害評估工作之進行。

目前利用模糊理論進行災害損害評估之文獻, 主要有 Song *et al.*(1996)利用模糊集合論評估地震災害之綜合損害。洪鴻智(1998)利用模糊集合論建立之消費者模糊效用函數, 以條件評價法(contingent valuation method), 評估工業區緩綠帶設置之環境風險改善之效益, 及 Kaufmann and Gupta(1988)利用模糊數學於風險管理及決策條件判斷應用等之相關文獻。惟以往應用模糊集合論於災害之損害分析, 多屬於成本—效能(cost-effective)或成本損害分析之擴充或應用(Song *et al.*, 1996; Perry and Stubbs, 1998), 引入綜合颱風損害多準則評估者仍非常缺乏。

Song *et al.*(1996)雖曾建立一套完整之地震損害模糊綜合評估模型, 且以日本9個地震為例評估地震之綜合損害程度, 惟其方法無法直接引用於颱風災害之損害評估。因地震災害具有與震央距離成反比之特質(即離震央愈近損害愈嚴重), 但颱風屬於移動性之自然災害, 且損害之程度與颱風眼之距離亦無明確關係。另因Song *et al.*所建立模型之計算過於複雜, 難以推廣。所以如何建立適用於颱風災害損害的模糊多準則綜合評估模型, 尤其如何兼顧颱風所造成之損害, 可能涵蓋區域內之多項事物損壞與跨地理區域之綜合損害評估特性, 乃損害估計模型建立需考慮之重心。

三、模糊多準則綜合評估模型之建立

本節將說明颱風損害綜合評估模型的建立程序與內容, 惟為使模型之建立更易於瞭解, 故先從模糊集合論之基本定義著手, 再擴充至評估模型之建立。以下首將說明模糊集合之基本定義與假設, 再說明模糊多準則綜合損害評估模型建構之程序與內容。

註4. 一般對於權重之訂定方式, 多是將損害程度分成若干等級, 直接以基數之型態, 如賦予嚴重損害:「5」分, 中度損害:「4」分, 之方式訂之, 而忽略所謂的損害程度本身所存在之模糊與主觀判斷特性(馮正民、呂秀玉, 1997)。

(一) 模糊集合論之基本定義

模糊集合理論乃Zadeh(1965)於Information Control中首先提出。模糊集合論主要在處理主觀判斷之「不精確(imprecision)」、「含糊(vagueness)」或資訊不充足的問題。模糊集合與一般二元集合主要之差異，在於對元素是否屬於X集合，可以值在0至1間的歸屬函數(membership function)示之。因此模糊集合的定義，可令X是所有x物件(objects)的集合，且X有一模糊子集合A，係由 $(x, \mu_A(x))$ 的依序成對元素所組成，即 $x \in X$ ，且 $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ ，則集合A可記成：

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \dots\dots\dots(1)$$

上式之 $\mu_A(x)$ 為A之歸屬函數， $[0,1]$ ，稱為歸屬度(Zimmermann, 1992, pp.11-12)，其值愈接近1，表示歸屬於A集合的程度愈高，反之愈接近於0，則表示歸屬程度愈低。如將模糊集合之觀念，應用於颱風災害損害評估，可令當 $\mu_A(x) = 1$ 時，代表颱風損害程度最大；反之， $\mu_A(x) = 0$ 時，損害程度最小。

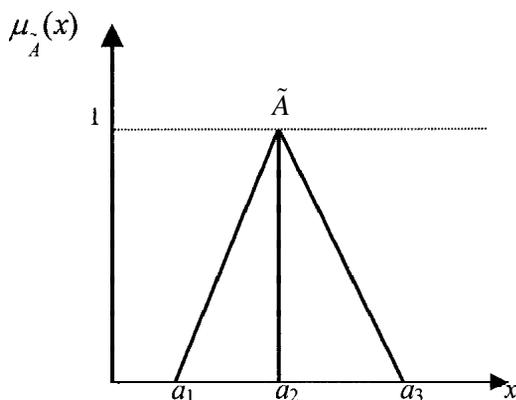
(二) 模糊數與評估值之表達

對於颱風損害之評估，為助於界定與表達多損害項目、不同損害程度與跨地理界線等特性，且為便於運算與評估，可以模糊數表達各種損害之評估值。因模糊數可助於處理颱風損害資訊蒐集涉及的不精確性，特別在資料處理過程，可藉由模糊數表達資料存在某種程度的「含糊度」，助於解決資訊的不充分問題。

模糊數的種類有許多，然為簡化分析內容及配合所蒐集資料的特性，以下引入應用最廣泛之三角模糊數(triangular fuzzy numbers；以下簡稱TFN)作為評估之基準^{註5}。可假設存在一個三角模糊數 \tilde{A} ，並可以 (a_1, a_2, a_3) 表之(如圖一所示)，其歸屬函數可表為下式(Mansur, 1995)：

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & , x > a_3 \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

註5. 模糊數之種類繁多，其中最常用者為四邊形模糊數與TFN，TFN為四邊形模糊數模糊數的特例，故兩種實為同型態的模糊數。對於模糊數型態的選擇，除考慮計算的簡化外，最重要的應視資料型態與評估目的而定(Stanislaw, 1997)。由於本文之資料特性，多為明確性資料，且在模糊性質上，多不具四邊形或其他模糊數的特性，故選用TFN作為以下評估之基礎。



圖一 三角模糊數

TFN的特性包括以下四項：

1. 具有連續性；
2. 超過 (a_1, a_3) 範圍之 $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ ；
3. 存在一個實數 a_2 ，且 $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ ，使 $\mu_{\tilde{A}}(a_2) = 1$ ；
4. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 為一個凸模糊集合，在 (a_1, a_2) 之範圍中呈嚴格線性遞增，在 (a_2, a_3) 之範圍中，則呈嚴格單調遞減。

(三)模糊多準則綜合評估模型之建立

颱風所造成之損害評估可能跨越許多地理區域 $j(j = 1, \dots, n)$ ，故可將欲評估之所有損害標的區表為下列之模糊集合：

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \dots\dots\dots(3)$$

每一個欲評估之標的區，颱風所造成之損害包括許多不同之項目(如人員傷亡、房屋倒塌等)，所以每個欲評估的區域 j 中，可將災害損害項目分割成多個次集合，而每個颱風損害項目或標的之次集合可以一個值示之，此值可視為評估的一項特徵值。假設第 j 個颱風損害評估標的區之模糊集合中，含有 l 個災害損害評估項目之次集合，則可將評估項目次集合表為：

$$x_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{lj}\}^T \dots\dots\dots(4)$$

藉由上式，所有評估標的區 j 欲評估之損害項目特徵值，以 X_m 矩陣表之。

$$X_n = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{ln} \end{pmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

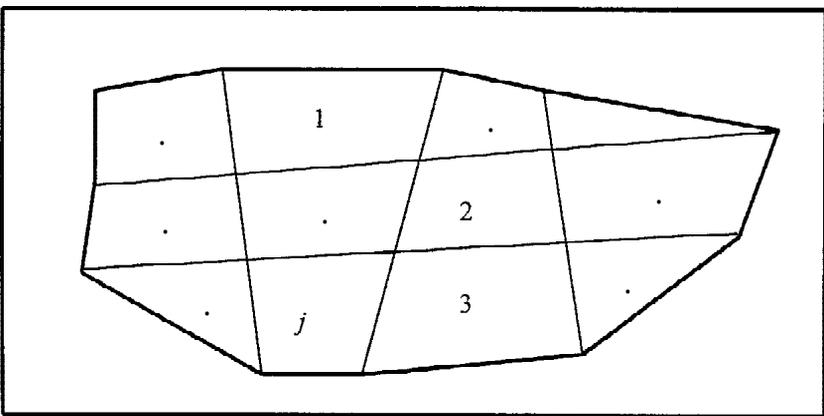
上式之 $x_{ij}(i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, n)$ 代表第 j 個評估標地區之第 i 項損害評估項目，而可將欲評估之颱風損害所有評估標的區，以圖二簡要示意之。

每個評估標的區 j 的颱風損害項目 x_{ij} ，由於量測技術、資訊不充分及主觀判斷等因素，故所蒐集之損害資料可能具不確定或不精確之特性，實際上可能為模糊數，故對於評估標的區之評估項目損害特徵值可以下列之 TFN 表之：

$$\tilde{V}_{ij} = (LV_{ij}, MV_{ij}, RV_{ij}), \dots\dots\dots(6)$$

上式 \tilde{V}_{ij} 之代表 x_{ij} 之模糊特徵值， LV_{ij} 代表第 i 項評估損害項目在第 j 個標的區之最低可能達成值， MV_{ij} 為最可能之達成值， RV_{ij} 為最大之達成值，且滿足 $LV_{ij} \leq MV_{ij} \leq RV_{ij}$ 。

達成值的決定，應隨颱風損害資料的型態定之。原始資料如為明確值，可利用類似統計預測值之方式以特定之顯著水準方式表之，亦即可以所蒐集之量測值或蒐集之資料為原始值，利用統計信賴區間之方法，取原始值 $\pm 1\%$ 或其他比率之「模糊區間」定義，以分別決定最小可能達成值 LV_{ij} ，最大達成值 RV_{ij} 與最可能之達成值 MV_{ij} 。



圖二 颱風損害評估標的區示意圖

原始資料如為區間值(可視為模糊區間)，則可直接以區間值之右界為 RV_{ij} ，左界為 LV_{ij} ，而 MV_{ij} 則以下式定之：

$$MV_{ij} = \frac{LV_{ij} + RV_{ij}}{2} \dots\dots\dots(7)$$

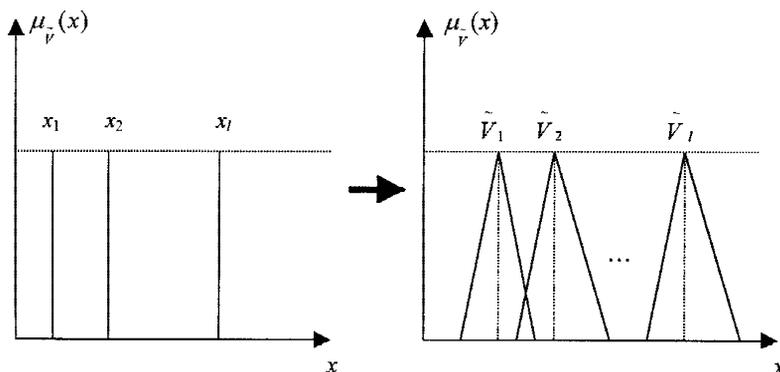
原始資料如為語意或質化變數，則以下式界定模糊損害特徵值 (馮正民、呂秀玉，1997)：

$$\tilde{V}_{ij} = \left(\frac{q-2}{r-1}, \frac{q-1}{r-1}, \frac{q}{r-1} \right) \dots\dots\dots(8)$$

上式之 \tilde{V}_{ij} 為質化損害特徵值之模糊達成值，亦即在損害資料難以量化或只以語意變數表達時，可視其颱風損害程度，依損害程度區分為 r 個語意尺度，而 q 代表第 q 個語意尺度^{註6}($q = 1, q = r$)。藉由 \tilde{V}_{ij} 的估計，即可將損害程度之人為主觀或質化判斷之特徵值轉化為TFN。

從以上三類原始資料之處理方式，最後可藉由圖三比較出原始損害「明確」特徵值 x_{ij} 與模糊損害特徵值 \tilde{V}_{ij} (或 \tilde{V}_{Lij})間之關係。圖三之左側圖代表原始取得之損害特徵值 x_{ij} ，乃具有明確或單一值之特性，然當面臨資料不精確與粗略等特性時，則應以如圖三右側圖之模糊達成值表達其資料特徵較為合理。

各種不同之災害量測損害項目達成值，常會發生量測值在量測單位上之差異，產生比較與計算上之困難，故可將損害項目量測值或達成值正規化(normalization)，



圖三 原始損害資料與模糊特徵值之比較

註6. 本文將颱風損害之「嚴重性」均勻劃分成「非常嚴重」、「嚴重」、「普通」、「不嚴重」與「非常不嚴重」5個語意尺度，因而 $r = 5$ 。

使其分布在[0,1]間，而可透過下式正規化：

$$\tilde{V}D_{ij} = \left[\frac{(LV_{ij} - LV_{i\min})^p}{(RV_{i\max} - LV_{i\max})^p}, \frac{(MV_{ij} - LV_{i\min})^p}{(RV_{i\max} - LV_{i\min})^p}, \frac{(RV_{ij} - LV_{i\min})^p}{(RV_{i\max} - LV_{i\min})^p} \right], \quad i, j, \dots (9)$$

式(9)之 $p > 1$ ，代表第 i 項評估項目在第 j 個標的區正規化後之颱風損害模糊達成值^{註7}。另外式(9)之 $RV_{i\max}$ 與 $LV_{i\min}$ 分別代表所有評估項目 i 之損害模糊達成值右界最大值與左界最小值，其涵義可以下二式表之：

$$RV_{i\max} = \text{MAX}_j \{RV_{ij}\}, \quad i \dots \dots \dots (10)$$

$$LV_{i\min} = \text{MIN}_j \{LV_{ij}\}, \quad i \dots \dots \dots (11)$$

對於颱風損害評估，依決策需要，可對不同評估項目給予不同權重，此可利用專家之知識或依決策者所面對之評估條件，對不同評估項目給予權重 \tilde{D}_i ，以決定各評估標的區之綜合損害程度。如將權重之概念列入評估的模糊數中，則可利用下式估計每個評估標的 j 之颱風損害綜合模糊達成值 $\tilde{V}S_j$ 。

$$\tilde{V}S_j = \sum_{i=1}^n (\tilde{D}_i \otimes \tilde{V}D_{ij}), \quad j \dots \dots \dots (12)$$

式(12)之 \otimes 代表模糊數之累加，可以「 $+$ 」計算之，而「 \otimes 」代表模糊數之積。但因模糊數積的求法非常複雜，為使計算能簡化，故引用Kaufman and Gupta(1988)及Teng and Tzeng(1996)之模糊數求積趨近法，令存在兩模糊數 $\tilde{A}_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13})$ 與 $\tilde{A}_2 = (a_{21}, a_{22}, a_{23})$ ，可利用下兩式定義模糊數之和與積的趨近：

$$\tilde{B}_1 = \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = [(a_{11} + a_{21}), (a_{12} + a_{22}), (a_{13} + a_{23})] \dots \dots \dots (13)$$

$$\tilde{B}_2 = \tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = [(a_{11} \cdot a_{21}), (a_{12} \cdot a_{22}), (a_{13} \cdot a_{23})] \dots \dots \dots (14)$$

可將式(13)與式(14)之計算結果表為： $\tilde{B}_1 = (b_{11}, b_{12}, b_{13})$ 與 $\tilde{B}_2 = (b_{21}, b_{22}, b_{23})$ ，分別代表 \tilde{A}_1 與 \tilde{A}_2 和與積之模糊數。

颱風損害之模糊多準則綜合評估法，即是將上述之綜合模糊達成值 $\tilde{V}S_j$ 轉化為歸屬函數，再藉之研判颱風損害之程度。模糊數轉化成歸屬函數之方法^{註8}，可利用

註7. p 值之作用在於決定正規化過程，是否要突顯所蒐集之資料中，原始模糊達成值資料的差異，當 p 值愈大，所估計之正規化後之值愈小，故可縮小原始值差異造成可能之資料誤判；反之，如欲突顯原始資料之差異，則應選擇較小之 p 值，故 p 值的設定可視分析或決策者的需求而定。

註8. 歸屬函數之估計法有許多不同之模式，在Triantaphyllou *et al.*(1990)的文獻中有整理歸屬函數決定之主要原則。

排比函數或比較函數，將模糊達成值 \tilde{VS}_j 轉換成相對指標或模糊歸屬度(Zhe and Lee, 1992)，作為判定評估颱風綜合損害程度之依據。

排比或比較函數之建立，本文引用 Kim and Park(1990) 所建立之樂觀-悲觀 (optimism-pessimism) 雙指標排比函數與Teng and Tzeng(1996)所建立的模糊多準則評估法。Kim and Park與Teng and Tzeng所建立的排比函數不但具模糊多準則評估排比函數之優點，且能加入決策者之專業判斷。此兩個特性可彈性應用於颱風損害評估之實務應用，尤其在不同地方政府或不同決策環境限制下，利用此類函數更有助於適應不同決策環境之需求。

Kim and Park(1990)認為歸屬函數之決定，應同時考慮決策者或評估者樂觀與悲觀之決策特性指標，故可將上述之 \tilde{VS}_j 視為下列之模糊數：

$$\tilde{VS}_j = (LVS_j, MVS_j, RVS_j), \quad j \dots\dots\dots (15)$$

式(15)之 LVS_j, MVS_j, RVS_j 分別代表模糊數 \tilde{VS}_j 之左界、中間值與右界，而 LVS_j, MVS_j, RVS_j 可利用式(12)估計之。

關於 \tilde{VS}_j 之估計，可將每個颱風綜合損害評估標的之損害程度，以模糊集合 \tilde{T} 表之，其歸屬函數為 $\mu_{\tilde{T}_j}(x_j)$ ， $\mu_{\tilde{T}_j}(x_j)$ 可藉由式(16)模糊集合之凸結合表之：

$$\mu_{\tilde{T}_j}(x_j) = \lambda \mu_{\tilde{T}_j^+}(x_j) + (1 - \lambda) \mu_{\tilde{T}_j^-}(x_j) \dots\dots\dots (16)$$

上式之 λ 代表評估者偏向「損害嚴重」認定之權重(以下稱偏激者)，而 $1 - \lambda$ 代表偏向「損害輕微」認定的權重(以下稱平和者)，(λ 值界於 $[0,1]$ 間。 λ 值的決定乃取決於評估者之態度，當決策者如為最偏激者， λ 取極值1，反之則取另一極值0，以下可以 \tilde{T}_j^+ 代表偏向「偏激評估者」之損害評估集合，可定義如下：

$$\tilde{T}_j^+ = \{x_j | \mu_{\tilde{T}_j^+}(x_j)\}, \quad j \dots\dots\dots (17)$$

$$\mu_{\tilde{T}_j^+}(x_j) = \text{hgt}(\tilde{VS}_j, H_{\max}) \dots\dots\dots (18)$$

上式之 $\mu_{\tilde{T}_j^+}(x_j)$ 代表每個颱風損害評估標的區 j ，偏激模糊損害達成值集合的歸屬函數，亦即為各評估區 j 中，損害最大可能之歸屬度。上式之 $\tilde{H}_{\max} = \{g | \mu_{\tilde{T}_j^+}(g)\}$ ， $g \in F$ ， F 代表所有 \tilde{VS}_j 模糊綜合達成值之集合， g 為 F 之子集合，且 g 須分布於 F 所涵蓋的所有模糊達成值範圍。另可定義 $g_{\min} = \inf F$ ， $g_{\max} = \sup F$ ，而 $\mu_{\tilde{T}_j^+}(g)$ 可以下式定之：

$$\mu_{\tilde{T}_j^+}(g) = \frac{g - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} \dots\dots\dots (19)$$

$$g = \sum_{i \in X} VS_i \dots\dots\dots(20)$$

式(19)代表 $\mu_{\tilde{H}_{\max}}(g)$ 為線性遞增坡形(ramp-shaped)歸屬函數，點 g 在 \tilde{H}_{\max} 的歸屬度代表 g 趨近於 g_{\max} 的程度。

另外評估者對於第 j 個颱風損害評估區，偏向「平和評估者」之颱風模糊綜合損害評估集合可以下式定之：

$$T_j^P = \{x_j | \mu_{\tilde{H}_j}(x_j)\}, \quad j \dots\dots\dots(21)$$

$$\mu_{\tilde{H}_j}(x_j) = 1 - \text{hgt}(\tilde{V}S_j, \tilde{H}_{\min}) \dots\dots\dots(22)$$

上式之 $\mu_{\tilde{H}_j}(x_j)$ 代表每個颱風損害評估標的區 j ，平和者之模糊損害達成值之歸屬函數，亦即為評估區 j 中最小可能之歸屬度。上式之 $\tilde{H}_{\min} = \{x_j | \mu_{\tilde{H}_{\min}}(g)\}$ ， $g \in F$ ，而 $\mu_{\tilde{H}_{\min}}(g)$ 可定為：

$$\mu_{\tilde{H}_{\min}}(g) = \frac{g_{\max} - g}{g_{\max} - g_{\min}} \dots\dots\dots(23)$$

式(13)代表 $\mu_{\tilde{H}_{\min}}(g)$ 線性遞減坡形(ramp-shaped)歸屬函數，點 g 在 \tilde{H}_{\min} 的歸屬度代表 g 趨近於 g_{\min} 的程度。

依據式(18)之定義， $\mu_{\tilde{H}_1}(x_j)$ 代表偏激評估者評估的歸屬函數，其為所有 VS_j 最大可能歸屬度的集合，隱含偏激決策者將給予最高的 $\mu_{\tilde{H}_1}(x_j)$ 最高的排序。另依式(22)之定義， $\mu_{\tilde{H}_2}(x_j)$ 代表平和者的評估歸屬函數，其為所有 VS_j 非最小可能歸屬度的集合，隱含平和決策者將給予最高的 $\mu_{\tilde{H}_2}(x_j)$ 最高的排序。故綜合式(18)與式(19)及式(22)與式(23)之定義，且因本文使用 TFN 代表 VS_j ，對於每個評估標的區 j 的颱風損害歸屬度的估計可引用下列各式估計之：

$$\mu_{\tilde{H}_1}(x_j) = \frac{x_j - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}, \quad j \dots\dots\dots(24)$$

$$\mu_{\tilde{H}_2}(x_j) = 1 - \left(\frac{g_{\max} - x_j}{g_{\max} - g_{\min}} \right), \quad j \dots\dots\dots(25)$$

$$g_1 = \frac{g_{\max} RVS_j - g_{\min} MVS_j}{(RVS_j - MVS_j) + (g_{\max} - g_{\min})} \dots\dots\dots(26)$$

$$g_2 = \frac{g_{\max} MVS_j - g_{\min} LVS_j}{(MVS_j - LVS_j) + (g_{\max} - g_{\min})} \dots\dots\dots(27)$$

第*j*個評估區之颱風綜合損害模糊歸屬度之決定，即可藉由式 (16)之定義估計之。

四、案例分析

案例分析係以近幾年發生之六個颱風為例，分從兩個層面評估颱風之損害。第一個層面為分別針對6個颱風，評估各颱風所引發之綜合損害；第二個層面則評估颱風在個別地理區域(各縣市)形成之綜合損害程度，以下即分就資料取得內容與方式，及兩個層面的案例分析結果說明之。

(一)資料取得

案例分析之資料取得，乃以民國85年7月至89年11月間所發生之六個颱風的損害與經濟損失資料，作為災害損害程度評估之依據，資料蒐集之內容可示之於表一。表一為六個颱風所引發相關損害指標之統計與觀測資料，內容包含颱風強度、淹水程度、人員傷亡與失蹤數、房屋之全倒、半倒數與農業損失等。

表一之資料共有三種不同之型態，包含：明確值(如農業損失)、質化語意性評估值(如淹水程度)與模糊區間(如颱風強度)三類資料。進行6個颱風造成損害的評估，首須處理所獲得之相關資料。然因表一之資料同時具有量化、質化與區間值型態，須就各類資料型態分別處理後，方能進行評估，以下即針對資料處理與評估之

表一 颱風災害損害之統計

颱風	颱風 [*] 強度	淹水程度 ^{**}	發生時間 (年/月/日)	死亡與失蹤人數(人)	輕重傷人數(人)	房屋全倒數(間)	房屋半倒數(間)	農業損失 (百萬元)
賀伯	中度	嚴重	1996/7/31	73	463	503	880	19,214.1
溫妮	中度	嚴重	1997/8/17	45	83	3	37	63.4
安珀	輕度	不嚴重	1997/8/28	1	38	0	26	710.0
瑞伯	中度	嚴重	1998/10/17	31	19	4	26	4,149.0
芭比絲	輕度	嚴重	1998/10/25	6	1	5	9	231.2
象神	中度	非常嚴重	2000/11/1	89	48	- ^{***}	-	3,008.6

*：輕度颱風之近中心最大風速為17.2-32.6(公尺/秒)，中度颱風為32.7-50.9(公尺/秒)

**：淹水程度的研判係參考消防局資料與相關媒體報導之主觀研判。

***：資料欠缺。

資料來源：內政部消防署，1999；台灣省農林廳，1999；中國時報，2000

結果說明之。

(二) 颱風綜合損害評估

透過前節所建立之模糊多準則綜合評估模型，可利用式(15) (27)，將表一所列之颱風損害項目與指標進行處理。資料處理方式，乃首將表一之資料，依三種資料型態，分別依式(6) (8)式之定義，以模糊數表之，而可將處理成果示之於表二。表二之颱風損害模糊達成值之決定方式，係依不同的資料型態，建構模糊達成值。其中「明確值」資料(包含：死亡與失蹤人數、輕重傷人數、房屋全倒數、房屋半倒數與農業損失)，係以表一之統計值為中間值，再分別取 $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 與 $\pm 9\%$ 三種不同「模糊程度」，作為模糊數之左、右界。當然左、右界大小之取捨可依決策或評估者之需求與決策特性決定之。語意變數型資料(淹水程度)，依式(8)方式處理，「區間值」資料(颱風強度)則以式(7)之方式處理。

表二之模糊達成值，各項損害量測值之單位仍有差異，乃利用式(9)將其正規化，而可將正規化後之成果以表三之模糊達成值示之(令 $p = 1.2$)。惟在估計模糊綜合達成 \tilde{V}_{S_j} 值前，需先決定權重 \tilde{D}_i ，再藉由式(12)估計 \tilde{V}_{S_j} 。權重 \tilde{D}_i 的決定，乃設定所有颱風損害評估項目或指標之重要性皆相同，再依資料值隱含模糊度： $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 與 $\pm 9\%$ 之差異，分別設定： $\tilde{D}_i = (0.141, 0.143, 0.144)$ ， $(0.136, 0.143, 0.150)$ 與 $(0.130, 0.143, 0.156)$ ($i = 1, 2, \dots, 7$)，並以之代入式(12)^{註9}。

藉由表三之正規化颱風損害綜合模糊達成值及 \tilde{D}_i 的設定，即可利用式(16)式(27)評估各颱風之綜合損害程度，最後將評估結果示之於表四。其中之 λ 值以 $\lambda = 0.5$ 代入式(16)，估計颱風之綜合損害程度 $\mu_{\tilde{V}_j}(x_j)$ 。最後颱風模糊多準則綜合損害程度之評估結果，可示之於表四最後一欄及圖四。表四之 $\mu_{\tilde{V}_j}(x_j)$ 代表颱風的綜合損害程度歸屬度， $\mu_{\tilde{V}_j}(x_j)$ 愈大代表損害程度愈大，反之則愈小。另表中共含三組估計值，其分別代表原始明確值損害資料各取 $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 與 $\pm 9\%$ 三種模糊度之估計成果。

從估計成果之 $\mu_{\tilde{V}_j}(x_j)$ 變化，可發現颱風損害程度之估計成果，隨資料隱含模糊度^{註10}之縮小，估計之損害程度有放大的趨勢，此特性隱含資料之模糊度如愈大，愈可能低估颱風之損害程度。如估計過程忽略資料的精確性，當所引用之資料愈粗略

註9. 綜合模糊達成值之計算，乃利用模糊數求和「 \oplus 」之方式計算，此計算方式係假設各颱風損害指標間具獨立性，且具有可線性相加之特性。

註10. 此所指之模糊度，指文中對於原始資料為明確值，在分析過程分別取其之 $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 與 $\pm 9\%$ 之模糊區間，所謂模糊度大者，指如取 $\pm 9\%$ 者，其模糊度大於 $\pm 5\%$ 而言。

表二 颱風災害損害之模糊達成值

模 糊 度	颶風強度 (公尺/秒)	淹水程度 (人)	死亡與失蹤人數 (人)	輕重傷人數 (間)	房屋全倒數 (間)	房屋半倒數 (百萬元)	農業損失
±9%	(32.70, 41.80, 50.90)##	(0.50, 0.75, 1.00)##	(66.43, 73.00, 79.57)	(421.33, 463.00, 504.67)	(457.73, 503.00, 548.27)	(800.80, 880.00, 959.20)	(17484.83, 19214.10, 20943.37)
±5%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(69.35, 73.00, 76.65)	(486.15, 463.00, 439.85)	(477.85, 503.00, 528.15)	(836.00, 880.00, 924.00)	(18253.40, 19214.10, 20174.81)
±1%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(72.27, 73.00, 73.73)	(458.37, 463.00, 467.63)	(497.97, 503.00, 508.03)	(871.20, 880.00, 888.80)	(19021.96, 19214.10, 19406.24)
±9%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(40.95, 45.00, 49.05)	(75.53, 83.00, 90.47)	(2.73, 3.00, 3.27)	(33.67, 37.00, 40.33)	(57.69, 63.40, 69.11)
±5%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(42.75, 45.00, 47.25)	(78.85, 83.00, 87.15)	(2.85, 3.00, 3.15)	(35.15, 37.00, 38.85)	(60.23, 63.40, 66.57)
±1%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(44.55, 45.00, 45.45)	(82.17, 83.00, 83.83)	(2.97, 3.00, 3.03)	(36.63, 37.00, 37.37)	(62.77, 63.40, 64.03)
±9%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.00, 0.25, 0.50)	(0.91, 1.00, 1.09)	(34.58, 38.00, 41.42)	(0.00, 0.00, 0.00)	(23.66, 26.00, 28.34)	(646.10, 710.00, 773.90)
±5%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.00, 0.25, 0.50)	(0.95, 1.00, 1.05)	(36.10, 38.00, 39.90)	(0.00, 0.00, 0.00)	(24.70, 26.00, 27.30)	(674.50, 710.00, 745.50)
±1%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.00, 0.25, 0.50)	(0.99, 1.00, 1.01)	(37.62, 38.00, 38.38)	(0.00, 0.00, 0.00)	(25.74, 26.00, 26.26)	(702.90, 710.00, 717.10)
±9%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(28.21, 31.00, 33.79)	(17.29, 19.00, 20.71)	(3.64, 4.00, 4.36)	(23.66, 26.00, 28.34)	(3775.59, 4149.00, 4522.41)
±5%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(29.45, 31.00, 32.55)	(18.05, 19.00, 19.95)	(3.80, 4.00, 4.20)	(24.70, 26.00, 27.30)	(3941.55, 4149.00, 4356.45)
±1%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.50, 0.75, 1.00)	(30.69, 31.00, 31.31)	(18.81, 19.00, 19.19)	(3.96, 4.00, 4.04)	(25.74, 26.00, 26.26)	(4107.51, 4149.00, 4190.49)
±9%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.50, 0.75, 1.00)	(5.46, 6.00, 6.54)	(0.91, 1.00, 1.09)	(4.55, 5.00, 5.45)	(8.19, 9.00, 9.81)	(210.39, 231.20, 252.01)
±5%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.50, 0.75, 1.00)	(5.70, 6.00, 6.30)	(0.95, 1.00, 1.05)	(4.75, 5.00, 5.25)	(8.55, 9.00, 9.45)	(219.64, 231.20, 242.76)
±1%	(17.20, 24.90, 32.6)	(0.50, 0.75, 1.00)	(5.94, 6.00, 6.06)	(0.99, 1.00, 1.01)	(4.95, 5.00, 5.05)	(8.91, 9.00, 9.09)	(228.89, 231.20, 233.51)
±9%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.75, 1.00, 1.00)	(80.99, 89.00, 97.01)	(43.68, 48.00, 52.32)	—	—	(2737.83, 3008.60, 3279.37)
±5%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.75, 1.00, 1.00)	(84.55, 89.00, 93.45)	(45.60, 48.00, 50.40)	—	—	(2858.17, 3008.60, 3159.03)
±1%	(32.70, 41.80, 50.90)	(0.75, 1.00, 1.00)	(88.11, 89.00, 89.89)	(47.52, 48.00, 48.48)	—	—	(2978.51, 3008.60, 3038.69)

: 以不同颶風強度之近中心最大風速的模糊區間進行估計；

: 淹水程度模糊數的決定，係將淹水程度之語意尺度分成五個等級，以式(8)決定之。

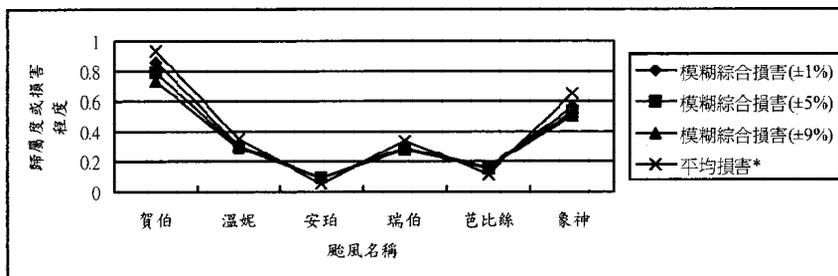
表三 颱風災害損害之標準化模糊達成值

颱風	模糊度	颱風強度 (公尺/秒)	淹水程度 (人)	死亡與失蹤人數 (人)	輕重傷人數 (間)	房屋全倒數 (間)	房屋半倒數 (百萬元)	農業損失
賀伯	±9%	(0.394, 0.685, 1.000)##	(0.500, 0.750, 1.000)##	(0.632, 0.708, 0.786)	(0.805, 0.902, 1.000)	(0.805, 0.902, 1.000)	(0.804, 0.901, 1.000)	(0.804, 0.901, 1.000)
	±5%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.696, 0.741, 0.786)	(0.886, 0.943, 1.000)	(0.887, 0.943, 1.000)	(0.886, 0.942, 1.000)	(0.886, 0.943, 1.000)
	±1%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.767, 0.777, 0.786)	(0.976, 0.988, 1.000)	(0.976, 0.988, 1.000)	(0.976, 0.988, 1.000)	(0.976, 0.988, 1.000)
溫妮	±9%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.350, 0.393, 0.436)	(0.101, 0.113, 0.126)	(0.002, 0.002, 0.002)	(0.013, 0.015, 0.017)	(0.000, 0.000, 0.000)
	±5%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.385, 0.411, 0.436)	(0.111, 0.119, 0.126)	(0.002, 0.002, 0.002)	(0.014, 0.016, 0.017)	(0.000, 0.000, 0.000)
	±1%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.425, 0.430, 0.435)	(0.123, 0.124, 0.126)	(0.002, 0.002, 0.002)	(0.016, 0.016, 0.016)	(0.000, 0.000, 0.000)
安珀	±9%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.000, 0.250, 0.500)	(0.000, 0.000, 0.001)	(0.039, 0.044, 0.049)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.007, 0.008, 0.010)	(0.014, 0.015, 0.017)
	±5%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.000, 0.250, 0.500)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.043, 0.046, 0.048)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.008, 0.009, 0.009)	(0.015, 0.016, 0.017)
	±1%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.000, 0.250, 0.500)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.047, 0.048, 0.048)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.009, 0.009, 0.009)	(0.017, 0.017, 0.017)
瑞伯	±9%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.221, 0.248, 0.276)	(0.016, 0.018, 0.021)	(0.002, 0.003, 0.003)	(0.007, 0.008, 0.010)	(0.126, 0.141, 0.157)
	±5%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.243, 0.259, 0.276)	(0.018, 0.019, 0.020)	(0.002, 0.003, 0.003)	(0.008, 0.009, 0.009)	(0.139, 0.148, 0.157)
	±1%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.268, 0.272, 0.275)	(0.020, 0.020, 0.020)	(0.003, 0.003, 0.003)	(0.009, 0.009, 0.009)	(0.153, 0.155, 0.157)
芭比絲	±9%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.026, 0.029, 0.033)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.003, 0.004, 0.004)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.003, 0.003, 0.004)
	±5%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.028, 0.031, 0.033)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.004, 0.004, 0.004)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.003, 0.03, 0.004)
	±1%	(0.000, 0.170, 0.391)	(0.500, 0.750, 1.000)	(0.031, 0.032, 0.032)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.004, 0.004, 0.004)	(0.000, 0.000, 0.000)	(0.003, 0.003, 0.003)
象神	±9%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.750, 1.000, 1.000)	(0.803, 0.901, 1.000)	(0.052, 0.058, 0.065)	—	—	(0.085, 0.095, 0.106)
	±5%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.750, 1.000, 1.000)	(0.886, 0.943, 1.000)	(0.057, 0.061, 0.065)	—	—	(0.094, 0.100, 0.106)
	±1%	(0.394, 0.685, 1.000)	(0.750, 1.000, 1.000)	(0.976, 0.988, 1.000)	(0.063, 0.064, 0.064)	—	—	(0.103, 0.105, 0.106)

#, ##：颱風強度與淹水程度因具有模糊與語意變數之特性，故毋須再分不同模糊程度估計之。

表四 颱風損害綜合評估結果

颱風	模糊度	模糊綜合達成值	λ	g_1	g_2	$\mu_{z_1}(x_i)$	$\mu_{z_2}(x_i)$	$\mu_z(x_i)$
賀伯	± 9%	(0.617, 0.822, 1.059)	0.5	0.866	0.689	0.817	0.649	0.733
	± 5%	(0.698, 0.851, 1.018)		0.874	0.740	0.858	0.726	0.792
	± 1%	(0.785, 0.881, 0.977)		0.890	0.802	0.911	0.820	0.865
溫妮	± 9%	(0.177, 0.280, 0.403)	0.5	0.361	0.255	0.339	0.238	0.288
	± 5%	(0.191, 0.283, 0.387)		0.352	0.260	0.342	0.252	0.297
	± 1%	(0.206, 0.287, 0.371)		0.342	0.265	0.347	0.268	0.307
琥珀	± 9%	(0.008, 0.070, 0.151)	0.5	0.140	0.066	0.129	0.060	0.094
	± 5%	(0.009, 0.070, 0.145)		0.135	0.066	0.129	0.061	0.095
	± 1%	(0.010, 0.071, 0.139)		0.130	0.067	0.129	0.064	0.096
瑞伯	± 9%	(0.165, 0.265, 0.385)	0.5	0.346	0.242	0.324	0.226	0.275
	± 5%	(0.177, 0.268, 0.370)		0.336	0.246	0.327	0.238	0.283
	± 1%	(0.189, 0.271, 0.355)		0.327	0.250	0.331	0.252	0.292
芭比絲	± 9%	(0.069, 0.137, 0.223)	0.5	0.207	0.129	0.192	0.118	0.155
	± 5%	(0.072, 0.137, 0.215)		0.200	0.129	0.192	0.122	0.157
	± 1%	(0.076, 0.137, 0.206)		0.193	0.129	0.193	0.128	0.160
象神	± 9%	(0.379, 0.548, 0.691)	0.5	0.609	0.473	0.574	0.445	0.509
	± 5%	(0.414, 0.558, 0.666)		0.602	0.489	0.589	0.478	0.534
	± 1%	(0.453, 0.568, 0.640)		0.597	0.508	0.609	0.518	0.563



*: 原始資料之加權平均 (只取模糊數之中間值平均, 且令所有評估項目之權重相等)

圖四 颱風模糊綜合損害估計與之比較

時，愈可能低估颱風損害之程度。表中亦顯示，颱風的強度確實會左右損害之程度；強度愈強，損害程度亦愈高。此估計之結果，可支持 Boswell *et al.*(1999)估計美國佛羅里達州颶風損失，隨颶風強度增強而增加之發現，此結果亦符合一般對颱風損害估計之基本命題。

從圖四得知歷次颱風之綜合損害程度，就三種資料隱含模糊度而言，皆顯示依損害嚴重程度之大小排序，依次為賀伯-象神-溫妮-瑞伯-芭比絲-安珀颱風。另圖四亦將三種隱含不同模糊度資料之損害估計成果進行比較觀察，圖中亦顯示當颱風損害資料隱含之模糊度不同時，估計成果之差距隨損害程度愈高，有愈放大的趨勢。圖四之估計成果亦與不考慮資料模糊度，只以標準化的模糊達成值中間數之加權平均(令各項颱風損害項目之損害估計權重皆相等)，所估計之颱風損害程度進行比較，發現加權平均之估計成果可能高估損傷較嚴重颱風之損害，而低估損害較輕微颱風之損害。

綜合表四與圖四之內容，從六個颱風綜合損害評估的結果，發現於估計颱風損害之過程，如能納入資料的模糊特質，應可縮小因忽略資料精確性所造成之颱風損害評估誤差。尤其只以加權平均估計颱風損害所掌握的原始資料愈不精確，愈可能擴大估計之誤差，特別會錯估較極端颱風(損害極大或極小)的損害程度，而引用模糊評估法可減低可能之估計誤差。此成果可同時支持 Boswell *et al.*(1999)與Deyle and Smith(2000)估計颶風損害成本，所提出之資訊不確定性(或對颶風災害風險的誤判)，會嚴重影響損害成本估計成果的警示。

颱風之模糊綜合損害歸屬函數 $\mu_{ij}(x_j)$ ，在實際應用時，除本文所列之評估項目與指標外，尚可依資料蒐集程度及決策需求，加入其他相關之損害指標，彈性進行颱風之綜合損害評估。此特性不但可使模糊多準則評估方法更符合實務操作所需，且能更合理的顯現颱風之損害狀態。

(三)地區之颱風損害綜合估計評估

前一部分之分析重心，在於各颱風所引發災害損害的綜合評估。惟就颱風防救災計畫之擬定與策略研判而言，瞭解各地方之颱風損害情況，再給予適當之救助或藉之擬定可行的防災計畫，仍是防災過程重要之一環。因此以下之重心，將著重在各颱風在各縣市損害分布之綜合評估，以瞭解颱風損害之地理分布特質。

進行各縣市之颱風損害評估前，為簡化分析內容及因資料之缺乏，只綜合討論溫妮、瑞伯與芭比絲三個颱風在各縣市造成之綜合損害，且考慮之損害項目只包含：人員傷亡、失蹤、房屋全倒與半倒四項評估項目。以下可將三個颱風在各縣市

造成之損害狀況簡列於表五，並以其作為模型輸入之基本資料。另因表五之資料皆為明確值，資料處理皆以調查值為中間值，以 $\pm 5\%$ 作為資料所隱含的「模糊空間」，訂出損害模糊特徵值。

表五乃三個颱風，在各縣市引發的損害項目項目，同前節之分析內容，將其資料進行處理與正規化(亦令 $p = 1.2$)後，再進行評估。進行各縣市颱風損害評估的內容包含兩個向度：1.第一個向度為三個颱風個別在各縣市造成損害程度的估計；2.第二個向度為三個颱風在各縣市之綜合損害程度估計。

就第一個評估向度而言，從圖五的估計結果，發現瑞伯與溫妮颱風造成較嚴重損害地區同樣為台北縣、市，此兩個颱風過境台灣時確實造成北台灣嚴重的災害(如汐止地區的嚴重淹水)，尤其是造成北台灣之淹水與財產損失問題非常嚴重，故估計之成果應屬合理。另芭比絲颱風造成損害程度較大之縣市，亦主要以北台灣及花蓮縣為重，此與芭比絲颱風的登陸地區與行經路徑有關。

第二個向度之分析，在於評估三個颱風在各縣市之綜合損害，惟在評估前需假設三個颱風之發生與損害為相互獨立。因此歷次颱風對各縣市之綜合損害程度，同樣之損害項目間可相加。同理，可應用式(15) (27)之模糊綜合模型進行估計，最後將估計成果示之於表六最後一欄與圖六。表中仍假設所有颱風損害評估項目之權重皆相等，所有之權重模糊數均為 $\tilde{D}_i = (0.238, 0.250, 0.263)(i = 1, \dots, 4)$ ，並可利用式(12)估計 $\tilde{V}S_j$ 。最後之綜合損害程度 $\mu_{\tilde{D}_j}(x_j)$ 之評估，亦令 $\lambda = 0.5$ 。

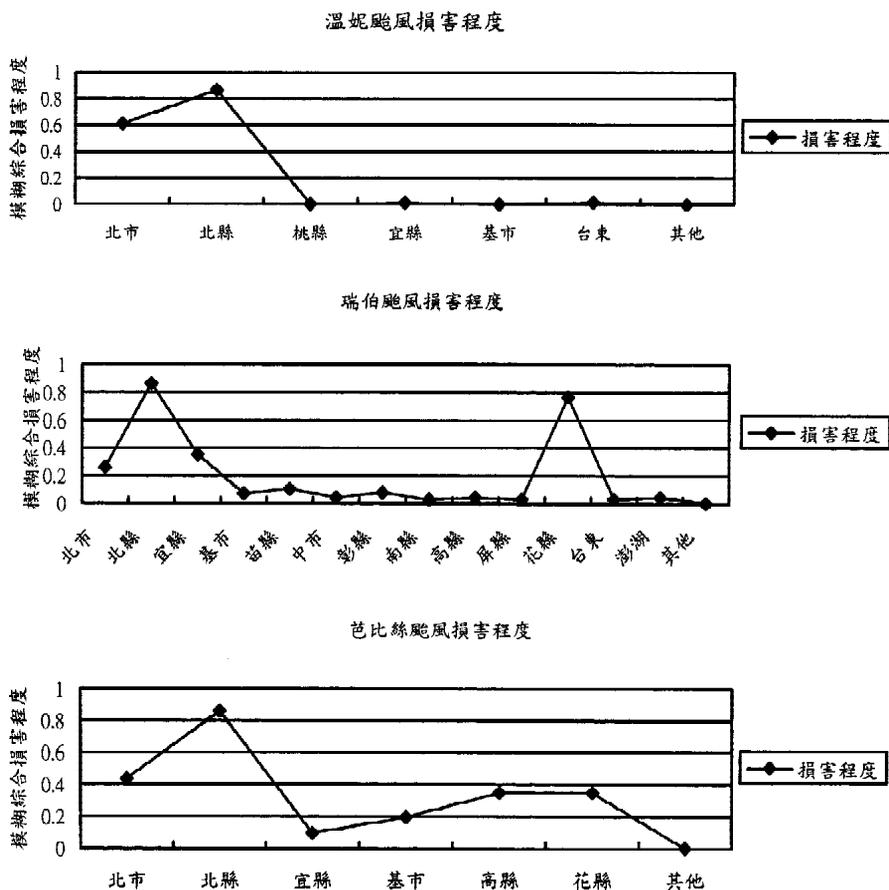
從圖六可明確研判，三次颱風總和損害較大的縣市，依次為台北市、台北縣、花蓮縣。此結果顯示，損害較大的縣市可能與三個颱風造成的洪水損害與颱風行進路徑有關。此部份之分析結果，如以前一部份分析各颱風之綜合損害程度之結果推論，應可得知如掌握的資料愈粗略，愈可能低估這些縣市的實際災害損害程度。然表六之模糊綜合評估，引入損害評估之指標只有四種，在實際評估時，仍可列入更多之指標，甚至考慮更多之颱風，使評估的成果更全面化，以利於迅速的擬定各縣市之防救災計畫。

歸納各颱風綜合損害評估及歷次颱風對各縣市之損害評估結果，可提供決策者作為決策參考，決策者可依 $\mu_{\tilde{D}_j}$ 之大小，依地區防災環境特性界定颱風之損害程度並提出對應之救災計畫。例如可令 $0.60 < \mu_{\tilde{D}_j} < 1.00$ 代表損害嚴重，損害達此程度之地區或颱風，決策者須擬定即時的救災計畫並投入更多的救災資源，迅速進行災後重建； $0.15 < \mu_{\tilde{D}_j} < 0.60$ 代表中度損害，決策者可依之擬定對應之救助計畫，給予適當之救助； $0.00 < \mu_{\tilde{D}_j} < 0.15$ 代表輕微損害。決策者只要評估出 $\mu_{\tilde{D}_j}(x)$ ，即可迅速的研判颱風損害程度，再藉之研擬即時或中、長期的救災行動。

表五 颱風在各縣市造成之損害

項目 縣市	溫妮颱風				瑞伯颱風				芭比絲颱風			
	死亡與 失蹤(人)	輕重傷 數(人)	房屋全 倒數(間)	房屋半 倒數(間)	死亡與 失蹤(人)	輕重傷 數(人)	房屋全 倒數(間)	房屋半 倒數(間)	死亡與 失蹤(人)	輕重傷 數(人)	房屋全 倒數(間)	房屋半 倒數(間)
台北市	13	33	3	1	5	1	0	0	0	0	2	2
高雄市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台北縣	28	47	0	36	4	6	0	21	2	0	2	6
桃園縣	0	1	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
宜蘭縣	2	0	0	0	0	5	0	4	1	0	0	0
基隆市	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1
新竹市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新竹縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苗栗縣	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
台中市	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
台中縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
南投縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
彰化縣	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
雲林縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台南市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
台南縣	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
高雄縣	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0
屏東縣	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
花蓮縣	0	0	0	0	8	1	4	1	0	1	0	0
台東縣	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
澎湖縣	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

資料來源：內政部消防署(1999)



圖五 三個颱風在各縣市造成綜合損害狀況

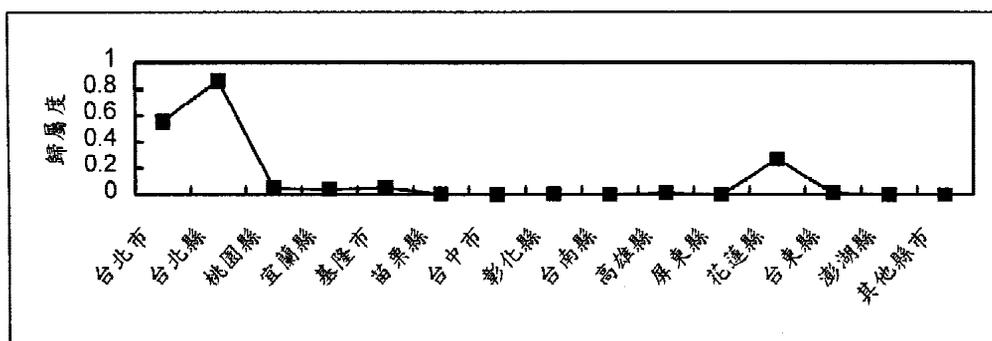
從前述的實例評估結果，發現模糊多準則綜合評估模式可助於從事颱風損害的多元與綜合評估。尤其藉由前述所開發之模式，決策者可迅速的估計各颱風，單獨或多地區、多項目的綜合損害程度，此對於即時的颱風防救災計畫之提出與執行皆有重大之幫助。從估計的成果亦發現，傳統透過蒐集資料，單純以加權平均估計颱風損害的模式，如蒐集之資料過於粗略，會擴大估計誤差，特別是對於巨災型的颱風，可能會因誤判資訊，而形成決策的盲點。

五、結論與建議

傳統對於颱風之損害評估，常被資料不充足、不精確、資訊不確定性或評估過

表六 各縣市颱風損害綜合評估

	模糊綜合達成值	λ	g_1	g_2	$\mu_{z_1}(x_i)$	$\mu_{z_2}(x_i)$	$\mu_{z_3}(x_i)$
台北市	(0.439, 0.490, 0.547)	0.5	0.514	0.463	0.586	0.528	0.557
台北縣	(0.704, 0.786, 0.877)	0.5	0.795	0.719	0.906	0.820	0.863
桃園縣	(0.039, 0.043, 0.049)	0.5	0.049	0.043	0.055	0.049	0.052
宜蘭縣	(0.031, 0.036, 0.039)	0.5	0.039	0.036	0.044	0.041	0.043
基隆市	(0.041, 0.046, 0.051)	0.5	0.051	0.046	0.058	0.052	0.055
苗栗縣	(0.004, 0.005, 0.005)	0.5	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006
台中市	(0.002, 0.002, 0.002)	0.5	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
彰化縣	(0.005, 0.006, 0.006)	0.5	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007
台南縣	(0.003, 0.004, 0.004)	0.5	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005
高雄縣	(0.013, 0.015, 0.017)	0.5	0.017	0.015	0.019	0.017	0.018
屏東縣	(0.003, 0.004, 0.004)	0.5	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005
花蓮縣	(0.204, 0.229, 0.255)	0.5	0.248	0.223	0.282	0.254	0.268
台東縣	(0.013, 0.015, 0.017)	0.5	0.017	0.015	0.019	0.017	0.018
澎湖縣	(0.002, 0.002, 0.002)	0.5	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
其他縣市	(0.000, 0.000, 0.000)	0.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



圖六 各縣市颱風模糊綜合損害之總和估計

程過於複雜所苦。這些問題長久以來，都是決策者或災害損害評估者希望能解決的課題。鑑於此困境之存在，本文引入模糊數學，建立多準則綜合評估模型，藉以評估颱風之災害損害。文中所建立之方法，主要之特性在於可同時評估多地區、多項目、多颱風與多資料型態之綜合損害，且可處理颱風損害資料隱含之不確定性與不精確問題，特別是在資料同時包含明確值、區間值與語意判斷時，皆可藉由模糊數的處理獲得有效的整合與估計。此等特性對於決策者而言，對於從事救災資源投入的評估，於分析方法論上的建立有參考價值。

文中以台灣發生之六次颱風為例，進行綜合損害的估計，估計之成果發現資料所隱含之模糊度愈高，所估計之颱風災害損失程度愈低；隱含之模糊度愈低則估計之損害程度愈高。換言之，此結果代表如所蒐集的颱風損害資料過於粗略，且估計損害時忽略此限制時，可能會嚴重扭曲災害損害估計之成果。此從估計成果可知，如忽略所蒐集颱風損失資料可能存在的模糊度與不確定性，不但會低估損害程度較小颱風之損失，且會高估損害程度較大颱風之損失。忽視颱風損害資料不確定特性所引發的估計偏差，將隨颱風強度的增大而擴大，故只以傳統之成本損失估計或加權平均法進行災害評估，將造成防災資源投資的錯誤配置及決策的誤判。

模糊多準則綜合評估模型，乃提供一個評估災害損害方法論的可行延伸平台，於實務應用時，不但可對於權重之設定加入決策者偏好，彈性的加入更多之損害評估項目(如維生管線之損壞程度等)。尤其對於權重之設定，可利用階層分析法、依決策特性或其他相關方法進行設定。本文主要之目的為方法論的探討，為使文中的模型建立與分析過程能簡化，文中對於模糊數之型態乃直接選取TFN，惟在實際應用，並非以此為限，而可依實際之決策環境與資料特性，選取適用之模糊數型態，以提高應用的層面。另關於所建立之模糊多準則綜合評估模型，實際上可結合 Zhe and Lee(1992)等所提出模糊數、模糊函數建立的相關理論及多準則評估法，以發展出更具一般化的模式，使模糊理論應用於颱風與各種自然災害損失估計能更為合理且有效。

參考文獻

- 洪鴻智，(1997)，工業區環境風險管理—REACT模型之應用，*《法商學報》*，32：301-328。
- 洪鴻智(1998)，模糊數學於環境風險—效益條件評價法之應用，發表於中華民國區

域科學學會1998年學術研討會，台北：國立台灣大學。

陳亮全、洪鴻智、賴美如(2001)，應用HAZ-Taiwan系統進行地震建物直接經濟損失之估計：以台北市士林區為例，發表於2001年地震災害境況模擬研討會，台北：國家地震工程中心。

馮正民、呂秀玉，(1997)，模糊方法在質化評估準則之運用：交通建設土地徵收難易度為例，《都市與計劃》，24：1-21。

熊光華、簡賢文、張仕獻、黃弟勝，(1997)，現行防救災體系及緊急應變機制之初步探析—以賀伯颱風後之南投信義地區為對象，發表於中華民國都市計劃學會1997年年會及學術研討會，台北：文化大學。

Barlow, J. and Glover, F., (1990), "A multicriteria stratification framework for uncertainty and risk analysis," In: D. E. Brown and C. C. White III (Eds.), *Operations Research and Artificial Intelligence: The Integration of Problem-solving Strategies* (pp.237-248), London: Kluwer.

Bendimerad, F., (2001), "Loss estimation: A powerful tool for risk assessment and mitigation," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21: 467-472.

Boswell, M. R., Deyle, R. E., Smith, R. A. and Baker, E. J., (1999), "A quantitative method for estimating probable public costs of hurricanes," *Environmental Management*, 23: 359-372.

Deyle, R. E. and Smith, R. A., (2000), "Risk-based taxation of hazardous land development," *Journal of American Planning Association*, 66: 421-434.

Federal Emergency Management Agency, (1997), *Earthquake Loose Estimation Methodology-HAZUS: Technical Manual* (Vol. III). Washington DC.

Greenwood, D. J. and Hatheway, D. J., (1996), "Assessing Opal's impact," *Civil Engineering*, 66: 40-43.

Hung, H. C., Chan, S. L. and Chen, L. C., (2000), "A feasibility analysis on the estimation for earthquake economic losses: The Taipei case," *Paper presented at natural hazards mitigation workshop*, Ottawa, Canada.

Kaufman, A., and Gupta, M. M., (1988), *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, New York: Elsevier.

Kim, K., and Park, K. S., (1990), "Ranking fuzzy numbers with index of optimism," *Fuzzy Sets and Systems*, 35: 143-150.

- Mansur, Y. M., (1995), *Fuzzy Sets and Economics: Application of Fuzzy Mathematics to Non-Cooperative Oligopoly*, Hands England: Edward Elgar.
- McAllister, D. M., (1980), *Evaluation in Environmental Planning: Assessing Environmental, Social, Economics, and Political Trade-Offs*, Cambridge MA. : The MIT Press.
- Perry, D. C. and Stubbs, N., (1998), "Evaluation of cost-effectiveness of various retrofit mitigation strategies, impact of new code provisions, and assessment of incentive programs," *Paper presented at INEEL Annual Conference*, Idaho Falls, IO.
- Petak, W. J. and Atkisson A. A., (1982), *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating the Unexpected*, New York: Springer-Verlag.
- Sarin, R., (2000), "Decision rules with bounded memory," *Journal of Economic Theory*, 90: 151-160.
- Shi, Y. and Yu, P. L., (1989), "Habitual domain analysis for effective decision making," In: B. Karpak and S. Zionts (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making and Risk Analysis Using Microcomputers* (pp.127-163), Berlin: Springer-Verlag.
- Song, B., Hao, S., Murakami, S. and Sadohara, S., (1996), "Comprehensive evaluation method on earthquake damage using fuzzy theory," *Journal of Urban Planning and Development*, 122: 1-17.
- Stanislaw, H., (1997), "Representation and application of fuzzy numbers," *Fuzzy Sets and Systems*, 91: 259-268.
- Teng, J. U., and Tzeng, G. H., (1996), "Fuzzy multicriteria ranking of urban transportation investment alternatives," *Transportation Planning and Technology*, 20: 15-31.
- Triantaphyllou, E., Pardalos, P. M. and Mann, S. H., (1990), "The problem of determining membership in fuzzy sets in real world situation," In: D. E. Brown and C. C. White III (Eds.), *Operations Research and Artificial Intelligence: The Integration of Problem-Solving Strategies* (pp. 197-214), Boston, MA.: Kluwer.
- Tversky, A, and Kahneman, D., (1982), "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases," In: D. Kahneman, P. Slovic and A. Tversky (Eds.), *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge: Cambridge university press.
- Wilson, A. R., (1991), *Environmental Risk: Identification and Management*, Chelsea MI.: Lewis.
- Zadeh, L. A., (1965), Fuzzy sets, *Information and Control*, 8: 338-353.

Zadeh, L. A., (1975), "The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part 1," *Information Science*, 8: 199-249.

Zhe, Q., and Lee, E. S., (1992), Comparison and ranking of fuzzy numbers, In: J. Kacprzyk and M. Fedrizzi (Eds.), *Fuzzy regression analysis* (pp.21-44). Warsaw: Omnitech Press.

Zimmermann, H. J., (1992), *Fuzzy Set: Theory and Its Application* (4th ed.), Boston: Kluwer.