

考量人為因素之貝葉氏網路風險評估模型之建構 - 以 連續模糊集合為基礎

A Bayesian-Network Risk Assessment Incorporating Human Factors Based on Continuous Fuzzy Set Theory

翁順泰*、林怡姍**

摘要

近年來海難事故層出不窮，檢討事故發生的原因發現大多數是由人為因素所造成，因此必須事前研擬一個全面性的風險評估才能降低災害的嚴重度。由於海事產業無充足的歷史資料提供追溯，所以一般在進行風險評估時，會借重專家學者們的專業判斷，並透過模糊理論將專家學者的判斷轉化成數值，然而如何將模糊結論轉成機率數值是極為重要的課題，部分學者採用 Mass Assignment 理論作為轉換機制，但是 Mass Assignment 理論局限於輸入離散化的歸屬函數資料，所以未能真實反映人類思考模式。

為了解決 Mass Assignment 理論的缺失，故本研究透過採用曲線配適方法與貝葉氏網路的新方法，使專家判斷能較為恰當的轉化成機率數值應用於風險評估中。經驗證後本研究之方法能將人類的真實思維體現於推論模型中。

關鍵字：人為因素、歸屬函數、曲線配適方法、貝葉氏網路

Abstract

Recently, maritime accidents emerge in an endless stream, and the cause of the maritime accidents result largely from human factors. Thus, a comprehensive risk

* 翁順泰 Shuen-Tai Ung，國立臺灣海洋大學商船學系暨研究所副教授；E-mail: shuntai@mail.ntou.edu.tw。

** 林怡姍 Yi-San Lin，國立臺灣海洋大學商船學系暨研究所研究生；E-mail: 19971001@ntou.edu.tw。

assessment needs to be developed in advance in order to reduce the risks of disasters. It is, however, difficult to acquire sufficient and historical data in the maritime industry, hence expert judgment plays crucial roles. Fuzzy set theory is one of the methods that is often applied to convert the expert judgment into numerical values. Some studies adopt Mass Assignment theory as a conversion mechanism. However, Mass Assignment theory confines the membership functions of linguistic terms to a discrete nature and this violates the logic of human thoughts.

In order to solve the drawbacks of Mass Assignment theory, a new risk assessment method capable of transforming expert judgment into probability values is proposed by combining curve fitting methods with Bayesian network. After the validation it is concluded that the framework proposed has the capability of solving the shortcomings aforementioned.

Keywords: Human Factors, Membership Functions, Curve Fitting Methods, Bayesian Network

壹、前言

無論是 20 世紀廣為人知的鐵達尼號海難，抑或是 2010 年震驚全球德墨西哥灣漏油事件，無庸置疑事故發生後導致人類生活環境遭受嚴重損害，甚至殃及自然生態界，因此從歷史教訓體認到爲了避免海難事故發生後釀成無法挽救的悲劇，所以必須高度重視海洋運輸潛藏的危險，然而事前擬定完備的風險評估是極其重要的課題，仰賴一套合理的風險評估才能將災害降至最低達到防範於未然的目的。

根據資料統計顯示人爲疏失是導致海難生成的主要原因，因此在進行風險評估時必須將人因要素納入考量，然而海事產業往往無法獲得充足的歷史資料，所以會藉重專家學者們的專業知識，利用模糊理論將專家意見轉換成量化的資料數據以利後續評估作業，迄今學術界都在致力於研究如何真實且確切利用專家學者們之質性的口語意見正確導入機率推論模型內，然而一個全面性考量意外事故成因和良好轉變成機率數值的方法才能研擬出一套準確的風險評估，否則只會造成高估或低估風險的結果。

目前有學者使用 Mass Assignment 理論作爲機率轉換機制的方法，但其存在缺失，Mass Assignment 理論僅適用處理離散化的歸屬函數資料，故本研究將是將人因要素以一較符合人類思考模式之連續化的口語資料，轉換成機率數值應用於風險評估進行因果關係推論。

貳、文獻回顧與評析

2.1 風險

日常生活中任何事物都潛藏著風險，由於發生意料之外的事故，致使人類或環境受到威脅(張聖坤等人，2003)。風險強調未來發生的可能性與不確定性，風險是採取機率的概念來評估事件的不確定性，並探討可能造成的危險、損害或是其他不好結果的可能性(劉文全，2005；張一岑，2009；Wang, 2006)。因此本研究將風險定義為某一特定事件發生的機率，及其所導致的結果、影響性與嚴重程度，導致的結果是指人類傷亡、財產損失、環境衝擊，或者是以上相互結合之災害結果，影響性是指特定事件的發生對於全體的因果影響意義，嚴重程度即是災害程度的大小。

2.2 風險評估

可靠性分析(Reliability Analysis)與安全性分析(Safety Analysis)皆是探討系統設備自身或是操作過程中是否有故障的可能性。依照黃清賢(1996)的定義，可靠性是「一個系統或組件，在規定的環境條件與特定的時間下，完成其預定功能的機率」，安全性是「不至於對人造成傷病死亡，或對設備造成毀損，或對財產造成損失，對環境造成傷害的情形」。可靠性分析是指機具在一段已知的時期和明確的狀態條件下能計算機具的可靠度並以機率值表達，而安全性分析的層面會延伸至研究故障後產生的結果，所以可以得知安全性分析涉及的範圍顯然較為廣闊，而風險評估(Risk Assessment)就是一個涵蓋了可靠性分析與安全性分析兩種的評估方法(Wang *et al.*, 2004)。舉例來說，船殼不夠堅固即可靠度低時，則會促使其毀損的可能增加，如此一來當船殼破裂之際，不僅會殃及貨物，亦會威脅船員的人身安全，又如碼頭邊的橋式起重機的機具零件不可靠時，連帶造成橋式起重機故障的頻率提高，至使安全性變低，易於產生機具毀人員亡的慘烈後果。

2.3 風險評估方法

世上沒有完美無缺的風險評估方法，每一種方法或多或少都存有瑕疵，因此只能就所要研究的課題找尋一個最為合情合理的評估方法。然而一個良好的風險評估能提供決策者作為安全考量的參考依據，當在進行風險評估時，必須將以下三個重點加以陳述(Ren *et al.*, 2009)：

- (1) 評估對象可能出現的錯誤
- (2) 錯誤造成什麼結果與影響

(3) 產生錯誤的時間與其成因

前兩項可以利用危險辨識方法(Hazard Identification approach, HAZID)獲取解答，另外還有初期危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PHA)、假設狀況分析(What-If Analysis)。危險辨識是控制錯誤發生的第一步，辨識出危險的存在、種類與後果。然而第三項是透過嚴謹的建模方法推論出因果關係，目的在於找出真正會導致錯誤生成的因素，並詳加估算錯誤發生的可能性，如此一來才能採取正確且合理有效的控制措施，降低錯誤發生的可能性。

當進行風險評估時，時常會遭遇到樣本數據資料不充足的問題，導致不確定性的產生，進而影響評估結果的準確性，因此通常是透過個人的知識或是專家的意見獲得數據資料，再藉由模糊理論或是貝葉氏理論等改善之(Balmat *et al.*, 2011)。

2.4 重要參考文獻之評析

許多海難事故往往都是人爲疏失所造成，由於 2006 年 Eleye-Datubo 等人未將人因素考量至海事緊急逃生疏散與救援系統(Emergency, Escape, Evacuation, and Rescue System, EEER)中，因此 2008 年 Eleye-Datubo 等人將一個新的變數人爲表現(Human Performance)加入至 EEER 系統內，並藉由 Mass Assignment 理論使人爲表現之模糊集合能轉換成機率分配的形式，再將人爲表現之機率數值透過貝葉氏網路方法以便進行風險評估，然而受限於 Mass Assignment 理論只能適用於以離散化歸屬函數圖形表示的模糊集合，所以 2008 年 Eleye-Datubo 等人將人爲表現之歸屬函數採取離散化的形態表達，此舉造成人爲表現之模糊集合違背了一般常理認知，導致無法真實反映人類思維。

一般而言模糊理論(Fuzzy Theory)之模糊集合(Fuzzy Set)是以歸屬函數(Membership Function)來表達集合所具有的性質，藉由歸屬函數才可以對模糊集合進行量化，並且才能使用精確的數學方法分析以及處理模糊性的資料(蓋墟，2003；吳柏林，2005)。通常歸屬函數的圖形可以分成兩種類型，第一種稱之爲「數值型的歸屬函數(Numerical Membership Function)圖形」，又名爲「離散化的歸屬函數(Discrete Membership Function)圖形」，而第二種稱之爲「函數型的歸屬函數(Functional Membership Function)圖形」，又名爲「連續化的歸屬函數(Continuous Membership Function)圖形」。第一種離散化的歸屬函數圖形，是指直接給定有限模糊集合內每個元素的歸屬度(Membership Grade)，並以向量形式表達之，第二種連續化的歸屬函數圖形，是指某一模糊集合是由無限多個元素組成，而模糊集合內的元素與其歸屬度之間的關係繪製成圖，兩者之優缺點比較如表 2-1 所示。使用離散化的歸屬函數圖形是當所探討的變數之狀況程度不具有連續逐漸變動的關係，例如學生對於各科考試難易程度的判定、各種類型的船舶經過十五年後老舊程度的認定，連續化的歸屬函數通常是在描述存在連續酌量改變關係的情況下，例如

人類對於溫度冷熱的感知、人類界定身材胖瘦的概念(孫宗瀛、楊英魁，1994；楊英魁等人，1996；李允中等人，2003；王文俊，2008)。

表 2-1 離散化的歸屬函數與連續化的歸屬函數優缺點比較

| | 離散化的歸屬函數 | 連續化的歸屬函數 |
|----|----------------|------------|
| 優點 | 簡單明瞭節省函數換算時間 | 藉由微分觀察動態變化 |
| 缺點 | 對系統的完整與精確性造成影響 | 計算較於繁瑣耗時 |

以學生對於各科考試難易度的判定闡述第一種離散化的歸屬函數圖形，假設學生對於國文、英文、數學、自然、社會五個考試科目做困難程度之描述，如圖 2-1 所示，橫軸代表五個考試科目，縱軸代表歸屬度數值從 0 至 1，從圖中得知國文的歸屬度為 1 最大，而數學的歸屬度為 0.1 最小，因此可以判定學生認為國文考科最為困難，而數學考科最為簡單，由於橫軸五個考試科目彼此間沒有存在連續變動關係，所以無法用連續化的歸屬函數圖形表達。

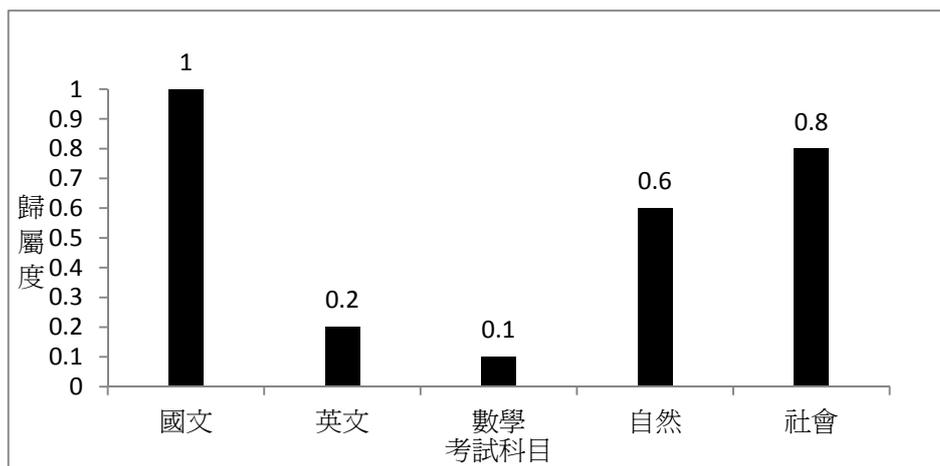


圖 2-1 離散化的歸屬函數圖形實例

以人們界定身材瘦的概念闡述第二種連續化的歸屬函數圖形，人們通常認為體重少於 45 公斤就算是身材瘦，因此可以將 45 公斤以下的體重之歸屬度標記為 1，然而高於 45 公斤的數值個別賦予一個小於 1 的歸屬度數值，此數值視為這個體重屬於瘦這個概念的程度，如圖 2-2 所示，橫軸代表體重，縱軸代表歸屬度數值從 0 至 1，由圖中得知 45 公斤以下的歸屬度都等於 1，即體重小於 45 公斤者完全符合瘦這個概念的程度，所以體重低過 45 公斤者可稱之為瘦，而 90 公斤以上的歸屬度都等於 0，即體重大於 90 公斤者完全不符合「瘦」這個概念的程度，所以體重高過 90 公斤者可稱之為胖，而體重 65 公斤的歸屬度為 0.6，表示體重 65 公斤者屬於身材瘦的程度只有 0.6。

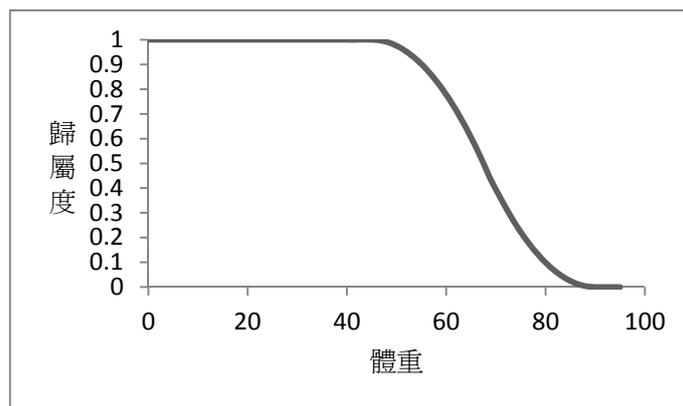


圖 2-2 連續化的歸屬函數圖形實例

2008 年 Eleye-Datubo 等人將人爲表現的模糊集合之語言變數(Linguistic Variable)的歸屬函數使用離散化的歸屬函數表達，如圖 2-3 所示，圖中橫軸 HP 表示人爲表現之七個語言變數，其各別意義由左至右依次爲 Very poor、Poor、Below Average、Average、Good、Very Good 以及 Excellent，縱軸表示七個語言變數隸屬的歸屬函數值。

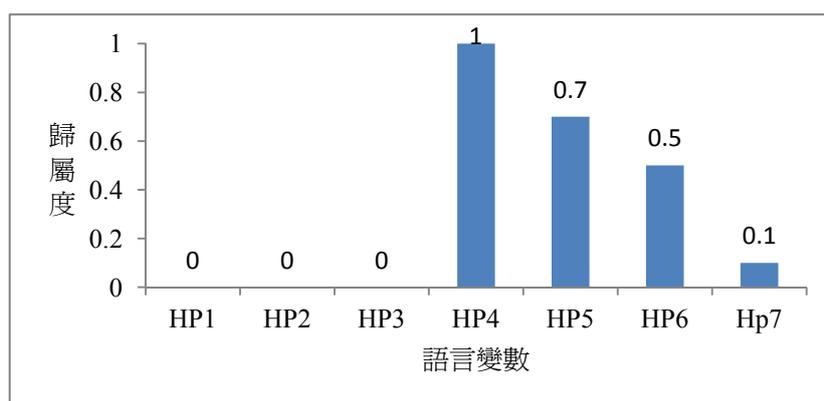


圖 2-3 人爲表現之歸屬函數

一般而言，對於一件事物判斷其優劣好壞時，應該採取一種以連續描述的方式，但是 2008 年 Eleye-Datubo 等人的研究，對於人爲表現由壞至好採用離散化的歸屬函數表達，本研究認爲比擬人類思考模式並按照邏輯常理而言，人爲表現應以連續化的歸屬函數呈現較爲合理，如此才能真切反映專家學者們的見解，並確保風險評估的準確性，人爲表現由壞到好應該是呈現連續變化的方式，若是使用離散化的歸屬函數，則無法完全表達資料分布的準確性，並且未能完全正確涵蓋所有資料發生的可能性，如此一來可能會影響後續風險評估結果的可靠度。

參、方法論

有鑒於 2.4 節重要參考文獻評析中所提及的缺失，故本研究認為必須強調人因要素對於風險評估的重要性，再者將以連續模糊集合為基礎進行風險評估，發展一個較具合理的海事風險評估模型。

3.1 研究架構

本研究改良 2008 年 Eleye-Datubo 等人所採用以離散化形式之歸屬函數表達人為表現變數的模糊集合，並使用新的方法取代 Mass Assignment 理論取得先驗機率，以便導入貝葉氏網路推論機制中。貝葉氏網路是以貝葉氏定理為基礎之方法，假若要計算某一事件發生的機率，需要具備影響此事件發生之變數的事前機率，加上變數與此事件因果關係的條件機率共同計算之，換言之就是利用事前機率和條件機率去推算事後的機率數值。本研究藉由基於最小平方法的多項式曲線配適方法，將人為表現變數的歸屬函數離散轉換成連續形態，藉此能獲得一個較符合人類常理的分布圖形，之後將人為表現變數轉化成機率數值，此數值即為人為表現變數的先驗機率，最後透過貝葉氏網路推論人為表現變數在海事緊急逃生疏散與救援系統中對於其他變數因果關係的影響性。

3.2 轉換變數離散化之歸屬函數

為了建立一個連續化之歸屬函數，首先需要轉換離散化之歸屬函數，將一個以長條圖表示之模糊集合變數轉換成二維空間散佈圖點樣式，步驟是原先離散化的歸屬函數值取其終端數值，此終端數值表示該語言變數的歸屬函數值，亦即將圖 3-1 轉變成圖 3-2。

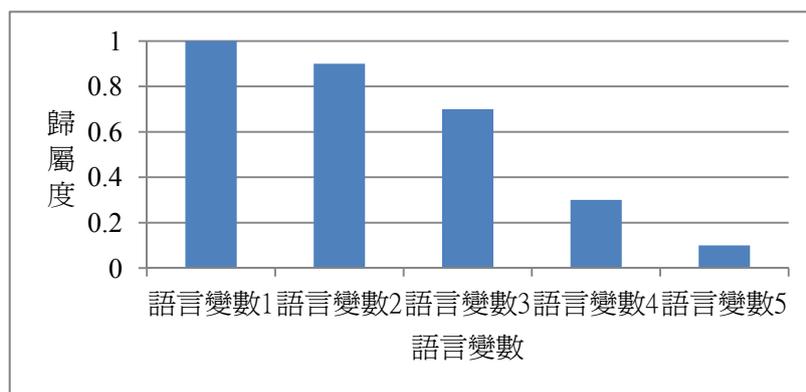


圖 3-1 變數 A 之離散化歸屬函數的長條圖

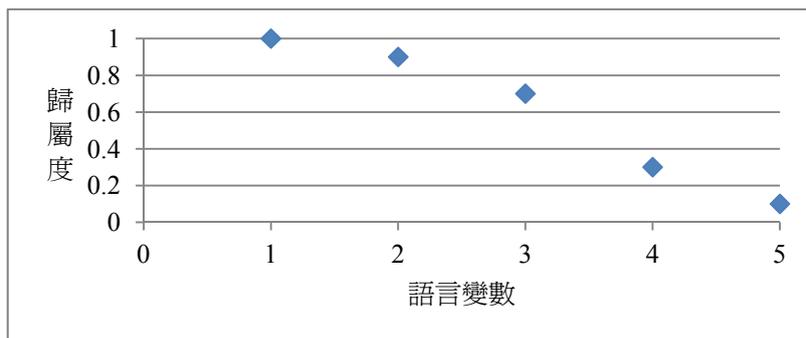


圖 3-2 變數 A 之離散化歸屬函數的二維空間散佈圖

3.3 建立連續化之歸屬函數圖形

若要將離散化轉變成連續化型態之歸屬函數，需要使用曲線配適(Curve Fitting)的方法，曲線配適的目的是為了找出符合資料點散布情形的最佳曲線。當資料點呈現一組連續的離散數值分布時，但卻需要這些散布資料點彼此相互間的估計數值，可以透過曲線配適技巧求取之(王晉中，2005)。假若資料點位置精確且呈現有規律的散布，則配適出的曲線方程式必定會通過原本已知的每一個點，此種估計資料點中間數值的方式稱為內插(Interpolation)；當資料點本身就具有明顯的誤差或是散布範圍雜亂無章，然而能設計一條平滑曲線能符合這些已知點散布的特性，此種用近似函數表示這些資料趨勢稱為最小平方方法(Least Square Method)，最小平方方法是基於資料點與曲線間垂直距離差異的平方和達到最小化的原則(袁帝文，1997；王晉中，2005)，如圖 3-3 所示。

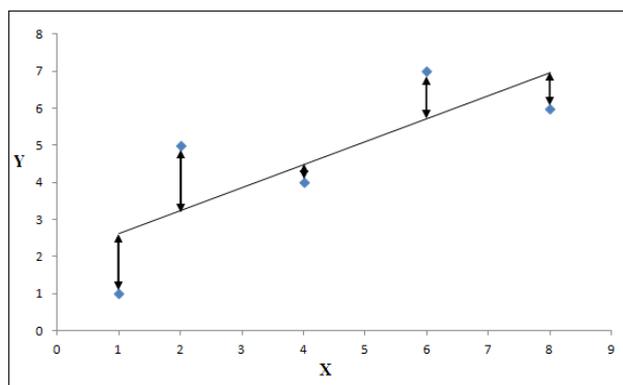


圖 3-3 最小平方方法的圖解說明

基於最小平方方法的多項式曲線配適(Polynomial Curve Fitting)，因為其次方階數高低能產生不同彎曲形狀的曲線，並且方程式的係數為線性特徵，所以多項式曲線配適相較於直線配適的使用範圍較廣泛(袁帝文，1997；王晉中，2005；王晉中，2010)。使用多項式曲線配適時，可以利用 MATLAB 程式語言軟體，輔助計算並且進行曲線配適工作，

電腦軟體能夠既迅速又便利得到圖形與數值，MATLAB 程式語言軟體內建的 polyfit 功能，就是基於最小平方方法的原理進行 n 階多項式的配適至資料點(黃俊銘，1997)。

3.4 獲取變數的先驗機率數值

當一個連續化之歸屬函數的圖形建立後，接續是要將模糊集合的數值轉換成貝葉氏理論的機率數值，以便使用貝葉氏網路進行因果推論，將變數之語言詞的集合經由公式 3.1 轉換可得變數的先驗機率，其轉換之計算公式如下(吳琪楓，2011)。

$$\delta_i = \frac{\eta_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i} \quad (\text{公式 3.1})$$

其中 $i = 1, \dots, n$

η_i : 變數的第 i 個語言詞之數值。

$\sum_{i=1}^n \eta_i$: 變數的各個語言詞數值之總和。

δ_i : 變數的第 i 個語言詞之先驗機率值。

3.5 取得變數之間的條件機率數值

貝葉氏網路中每個節點都有一個條件機率表(Conditional Probability Table, CPT)，一般而言可以藉由過往的數據統計資料給定條件機率表內的數值，亦或是商請領域中的專家學者，憑藉他們的豐富經驗以主觀的方式填入機率數值，然而海事領域的歷史統計資料有限，因此多以專家學者的主觀判斷獲取機率數值(Eleye-Datubo *et al.*, 2006)。

3.6 求取最終變數的後驗機率以利決策

貝葉氏網路是以貝葉氏定理進行因果關係推論，當影響某事件的變數非常繁多龐大時，我們可以使用軟體操縱之，一般常見的軟體有三種 Hugin Expert、MSBNx 以及 Netica。

本研究則採用第一種 Hugin Expert 軟體作為貝葉氏網路分析工具，因為 Hugin Expert 軟體為一個網路資源免費索取使用的軟體，而且廣泛的被使用於風險評估領域中，Hugin Expert 是依據貝葉氏理論所設計的軟體，利用已知的資料推論其他欲求的資訊，操作過程中只需輸入各個節點的資訊，接著交由軟體自行計算，因此使用者毋須具備寫作程式的技能。

肆、案例分析

本研究驗證 EEER 系統之風險評估必須考慮新變數人因要素，再者將一個具離散化性質的新變數轉換成連續化的形式，使得新變數的歸屬函數分布與人類思維相符，再透過資訊轉換取得變數的先驗機率，並將機率數值輸入至貝葉氏網路，以便進行風險評估之推論。

本研究以 SCI 期刊之案例進行驗證，本欲以 2008 年 Eleye-Datubo 等人之研究課題進行案例分析，將資料分佈屬離散化性質之人為表現因素轉為連續化形式，並藉由貝葉氏網路評估其對於 EEER 系統施放機率之影響；然由於無法取得該研究所有資料，因此本研究以該團隊於 2006 年發表之相關研究-以貝葉氏網路評估各形式海難對於 EEER 系統施放機率之影響為課題進行案例分析，比較 EEER 系統有無考慮人為表現後對系統整體的影響性，以 2008 年離散化之人為表現，作為貝葉氏網路新增的人為表現因素之資料，將具離散化分布性質之人為表現因素轉變成連續化形式，分析增加該因素之前後對於 EEER 系統施放機率的變化，期能給予決策階層不同層面之見解。

4.1 發展連續化之歸屬函數

人的表現好壞對於 EEER 系統而言，會影響人員逃生疏散情形，EEER 系統中的人為表現變數，是考量海事產業中人員本身以及對於工作內容和身處環境等總共 11 項評估因子，如可利用的時間、壓力、經驗和訓練、工作量和複雜性、人類工程學(包含人機介面)、環境影響、操作程序的品質、語言和文化、道德倫理與積極性、操作人員的適任性、工作程序，經過 if-then 關聯度法則庫得出人為表現的結論，舉例如下：

IF 「利用的時間」是「extra」AND 「壓力」是「minimal」AND 「經驗和訓練」是「very good」AND 「工作量和複雜性」是「slight」AND 「人類工程學」是「fantastic」AND 「環境影響」是「inconsequential」AND 「操作程序的品質」是「high」AND 「語言和文化」是「fair」AND 「道德倫理與積極性」是「acceptable」AND 「操作人員的適任性」是「certified very healthy」AND 「工作程序」是「normal」THEN 「人為表現」是「excellent」。

由於 2008 年 Eleye-Datubo 等人對於人為表現變數，採取離散化之歸屬函數違背一般常理，依照人類思考模式而言，人為表現變數的好壞應該是呈現連續改變的模式，因此改採用連續化的歸屬函數描述人為表現較為恰當。一個良好的轉變機制才能研擬準確的風險評估，倘若扭曲專家學者的意見，就不能夠將人類的真實思維正確表達，以至於造成高估或是低估風險的可能。本研究運用曲線配適方法作為轉換機制樞紐，將離散化

的歸屬函數經由曲線配適方法，建立一個連續化的歸屬函數圖形，使變數之模糊集合符合人類常理的認知。

4.2 案例驗證

4.2.1 模擬案例情境之描述

船上人員遭受遇險情形最常見的是船舶發生火災(Fire)、碰撞(Collision)和浸水(Flooding)三種類別，在遭受遇險情況後船上的警報器將會啟動，警示所有人員務必戒備並採取逃生行動，當遭受遇險後船員逃生的方式大多選擇使用自由降落下水式救生艇(Free-fall Lifeboat)和救難艇(Rescue Boat)，上述即是一個 EEER 海事緊急逃生疏散與救援系統，因此將上述各個變數依照其相互影響關係繪製成一個簡易的因果示意圖，如圖 4-1 所示。

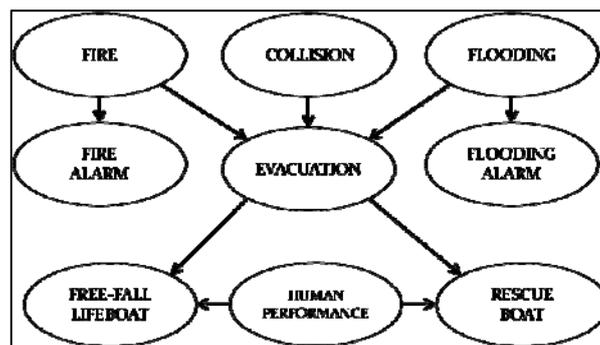


圖 4-1 EEER 系統例子

將變數人為表現(Human Performance, HP)納入 EEER 系統內，主要是為了將人為因素考量至 EEER 系統中，因為絕大部分的海難事故會發生，都是人為疏失所釀成的後果，所以在進行海事風險評估時務必要將人為因素加入考核的要項，藉此端看人類與 EEER 系統兩者之間彼此交互影響的關係性。

2008 年 Eleye-Datubo 等人將影響 EEER 系統的人為表現變數，使用七個語言變數形容，分別為 Very Poor、Poor、Below Average、Average、Good、Very Good 以及 Excellent，個別再簡化成 HP1、HP2、HP3、HP4、HP5、HP6 以及 HP7 代表之，變數 HP 的歸屬函數圖形分布如圖 2-3 所示。

4.2.2 轉換變數離散化之歸屬函數

先將原本離散化的歸屬函數取其終端數值，此終端數值表示該語言詞的歸屬度數值，變數 HP 的七個語言變數的終端數值個別是 0、0、0、1、0.7、0.5 以及 0.1，如圖 4-2 所示，並將資料點的長條圖改爲二爲空間散布圖樣，如圖 4-3 所示，然而變數 Hp 只需考慮焦點元素，所謂的焦點元素是指非零的數值，因此語言變數 HP1、HP2 以及 HP3 予以剔除。

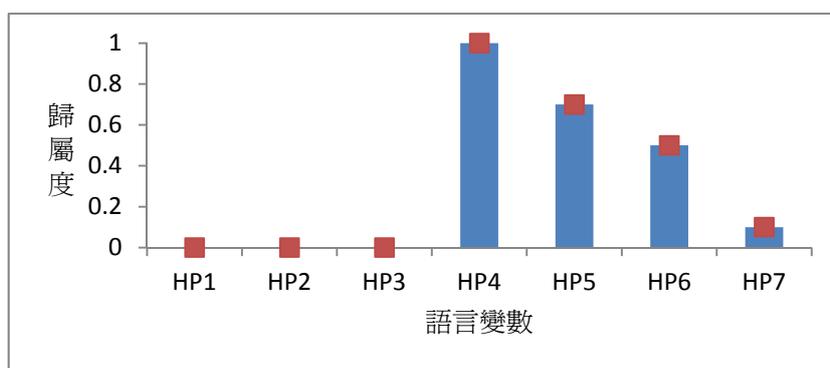


圖 4-2 變數 HP 之語言變數歸屬函數之終端值選取示意圖

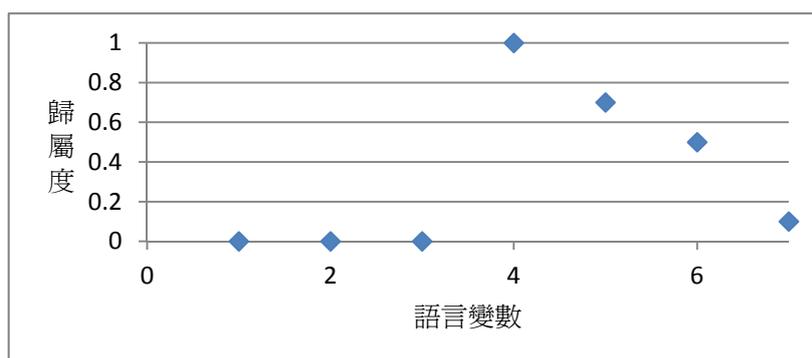


圖 4-3 變數 HP 之二維空間散布圖

4.2.3 建立連續化之歸屬函數圖形

由於排除了變數 HP 之語言變數的歸屬函數數值爲零，因此只需要考慮 HP4、HP5、HP6 以及 HP7，可以把上述四個 HP 視作是四個資料點，將這四個資料點進行多項式曲線配適，以便繪製出一條具有此四點型態的曲線，在此運用 MATLAB 程式語言軟體求得最適曲線，圖 4-4 爲使用 MATLAB 程式語言軟體內建的 polyfit 功能進行多項式曲線配適的程式碼，圖 4-5 爲資料點經曲線配適後的曲線圖示。

```

clc;clear;x = [4:7];y = [1 0.7 0.5 0.1];xp = [4:0.01:7];
for k = 1:4
c = polyfit(x,y,k);
yp(k,:) = polyval(c,xp);
end
subplot(2,2,1);plot(xp,yp(1,:),x,y,'o'),axis([0 8 0 1.2]),title('一次多項式'),grid on
subplot(2,2,2);plot(xp,yp(2,:),x,y,'o'),axis([0 8 0 1.2]),title('二次多項式'),grid on
subplot(2,2,3);plot(xp,yp(3,:),x,y,'o'),axis([0 8 0 1.2]),title('三次多項式'),grid on
subplot(2,2,4);plot(xp,yp(4,:),x,y,'o'),axis([0 8 0 1.2]),title('四次多項式'),grid on

```

圖 4-4 變數 HP 進行曲線配適之程式碼

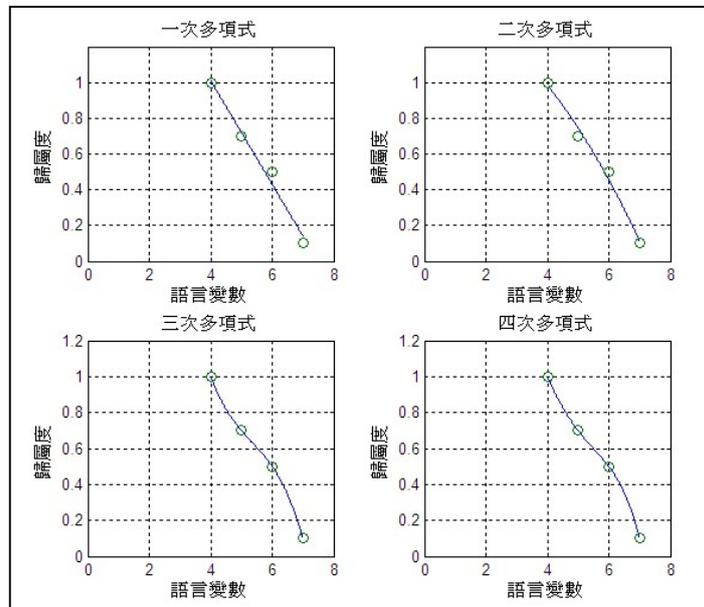


圖 4-5 變數 HP 曲線配適後之最適曲線

圖 4-5 是將四個資料點分別進行一次、二次、三次與四次多項式曲線配適後的圖形，可以觀察出隨著多項式次方增加，使得配適後的曲線更能與原本四個資料點貼合，換句話說就是利用高階的多項式進行配適時，次方越高則配適的結果也越好，兩者呈現正比的關係，然而圖 4-5 中三次多項式與四次多項式的配適結果實際上是幾乎相同，因此本研究是以三次多項式配適的結果作為準則 故變數人為表現之語言變數 HP1 HP2 HP3、HP4、HP5、HP6 以及 HP7 的歸屬函數數值，經過曲線配適的結果依序分別為 0、0、0、1、0.7、0.5 以及 0.1。

4.2.4 獲取變數的先驗機率數值

人爲表現的先驗機率值 2008 年 Eleye-Datubo 等人是藉由 Mass Assignment 理論求取之，本研究則是改用公式 3.1 獲得人爲表現之七個語言變數個別的先驗機率數值。

以計算 HP4 之先驗機率值爲範例，首先變數 HP 七個語言變數的歸屬函數分別是 HP1=0、HP2=0、HP3=0、HP4=1、HP5=0.7、HP6=0.5 以及 HP7=0.1，利用公式 3.1 得出 HP4 的先驗機率值爲 0.435。

$$\delta_{HP4} = \frac{1}{0+0+0+1+0.7+0.5+0.1} = \frac{1}{2.3} = 0.435$$

因此類推出變數 HP 之七個語言變數的先驗機率爲 $\delta_{HP1} = 0$ 、 $\delta_{HP2} = 0$ 、 $\delta_{HP3} = 0$ 、 $\delta_{HP4} = 0.435$ 、 $\delta_{HP5} = 0.304$ 、 $\delta_{HP6} = 0.217$ 以及 $\delta_{HP7} = 0.043$ 。

4.2.5 取得變數之間的條件機率數值

從圖 4-1 可知火災、碰撞、浸水都沒有母結點，其先驗機率與計算一機具發生故障之機率一樣呈指數分布，因此由 $P = 1 - e^{-\lambda t}$ 公式求得，其中 t 是船舶能運作的年限，在此以 25 年爲準則，而 λ 是在此即爲故障率，是依照故障指數機率密度分布結合資料庫而得知，因此火災、碰撞、浸水的 λ 值依次分別是 8.93×10^{-3} 、 8.43×10^{-3} 、 3.77×10^{-3} 。對於火災的描述只有撲滅和未撲滅兩項，而碰撞一樣也是有兩種描述內容船隻無礙與船隻翻覆，至於浸水分別用小裂痕與沉沒描述，變數的數據是參照 2006 年 Eleye-Datubo 等人的期刊案例，如表 4-1 所示。

表 4-1 EEER 系統火災、碰撞、浸水三者的先驗機率表

| 火災 | | 碰撞 | | 浸水 | |
|-----|-----|------|------|-----|------|
| 撲滅 | 0.8 | 船隻無礙 | 0.81 | 小裂痕 | 0.91 |
| 未撲滅 | 0.2 | 船隻翻覆 | 0.19 | 沉沒 | 0.09 |

資料來源：Eleye-Datubo *et al.* (2006)。

EEER 系統之火災警報(Fire Alarm)與浸水警報(Flooding Alarm)都個別源自於火災與浸水母結點，兩者都含有啓動和未啓動的描述，所以存在著條件機率的關係，變數的數據亦參照 2006 年 Eleye-Datubo 等人的期刊案例，如表 4-2 所示。

表 4-2 EEER 系統火災警報和浸水警報的條件機率表

| 火災警報 | | | 浸水警報 | | |
|------|------|-------|------|------|-------|
| | 撲滅 | 未撲滅 | | 小裂痕 | 沉沒 |
| 未啓動 | 0.87 | 0.001 | 未啓動 | 0.89 | 0.001 |
| 啓動 | 0.13 | 0.999 | 啓動 | 0.11 | 0.999 |

資料來源：Eleye-Datubo *et al.* (2006)。

EEER 系統內疏散(Evacuation)的變數控鈕依其箭頭指示的來源，得知深受火災、碰撞、浸水三項要素影響，而疏散分成無須疏散和疏散必要兩種描述情況，因此彼此間同樣也存有條件機率的關係，變數的數據亦參照 2006 年 Eleye-Datubo 等人的期刊案例，如表 4-3 所示。

表 4-3 EEER 系統疏散的條件機率表

| 浸水 碰撞 火災 | 小裂痕 | | | | 沉沒 | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 船隻無礙 | | 船隻翻覆 | | 船隻無礙 | | 船隻翻覆 | |
| | 撲滅 | 未撲滅 | 撲滅 | 未撲滅 | 撲滅 | 未撲滅 | 撲滅 | 未撲滅 |
| 無須疏散 | 0.89 | 0.35 | 0.34 | 0.24 | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 0.01 |
| 疏散必要 | 0.11 | 0.65 | 0.66 | 0.76 | 0.84 | 0.87 | 0.88 | 0.99 |

資料來源：Eleye-Datubo *et al.* (2006)。

EEER 系統多考量人為表現變數，將其往上追溯並沒有母結點，因此其先驗機率值是來自於 4.2.4 計算出的數據，此數據是在人為表現呈現一般的狀態下，如表 4-4 所示。

表 4-4 EEER 系統人為表現的先驗機率表

| 人為表現 | 非常差 | 很差 | 差 | 一般 | 好 | 很好 | 非常好 |
|------|-----|----|---|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0 | 0 | 0.435 | 0.304 | 0.217 | 0.043 |

EEER 系統最終變數自由降落下水式救生艇和救難艇，都是受到同樣的兩個母結點牽制，一為疏散之必要性與否，二為人為表現之情形好壞，兩者的描述皆具有兩個要施放和不要施放，由於疏散的必要性具有兩種描述，而人為表現之情形好壞有 7 種，故將會有 28 個條件機率數值，最終變數由於比 2006 年 Eleye-Datubo 等人的期刊案例多受人為表現母結點影響，故在此採用主觀的指派其機率數值，如表 4-5 與表 4-6 所示。

表 4-5 EEER 系統自由降落下水式救生艇的條件機率表

| 人為表現 | 非常差 | | 很差 | | 差 | | 一般 | | 好 | | 很好 | | 非常好 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 無須疏散 | 疏散必要 |
| 不要施放 | 0.92 | 0.35 | 0.9 | 0.3 | 0.85 | 0.25 | 0.8 | 0.2 | 0.75 | 0.15 | 0.7 | 0.1 | 0.65 | 0.04 |
| 要施放 | 0.08 | 0.65 | 0.1 | 0.7 | 0.15 | 0.75 | 0.2 | 0.8 | 0.25 | 0.85 | 0.3 | 0.9 | 0.35 | 0.96 |

表 4-6 EEER 系統救難艇的條件機率表

| 人爲表現 | 非常差 | | 很差 | | 差 | | 一般 | | 好 | | 很好 | | 非常好 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 無須疏散 | 疏散必要 |
| 不要施放 | 0.95 | 0.45 | 0.9 | 0.4 | 0.85 | 0.35 | 0.8 | 0.3 | 0.75 | 0.25 | 0.7 | 0.2 | 0.65 | 0.15 |
| 要施放 | 0.05 | 0.55 | 0.1 | 0.6 | 0.15 | 0.65 | 0.2 | 0.7 | 0.25 | 0.75 | 0.3 | 0.8 | 0.35 | 0.85 |

4.2.6 求取最終變數的後驗機率以利決策

利用 Hugin Expert 軟體縮短計算時間並能快速推導因果影響關係，將變數的先驗機率或是條件機率輸入至網路中，然後 Hugin Expert 軟體能自行依照貝葉氏理論進行推論，得到最終的後驗機率數值，如表 4-7 所示。

表 4-7 EEER 系統考慮人爲表現的最終結果

| | | | | |
|-------------------------------|------------|--------|------|--------|
| 2006 年 Eleye-Datubo 等人未考慮人爲表現 | 自由降落下水式救生艇 | | 救難艇 | |
| | 不要施放 | 60.76% | 不要施放 | 73.70% |
| | 要施放 | 39.24% | 要施放 | 26.30% |
| 本研究之新方法求出人爲表現之先驗機率數值 | 自由降落下水式救生艇 | | 救難艇 | |
| | 不要施放 | 59.83% | 不要施放 | 63.48% |
| | 要施放 | 40.17% | 要施放 | 36.52% |

由於許多事故發生的成因都與人息息相關，因此當 EEER 系統多加考量了人爲表現因素後，最終變數的後驗機率數值確實產生了變動，提供決策者以不同的角度思考緊急逃生疏散與救援系統之風險評估，並能使風險評估更周全完善。再者本研究將原作者取得人爲表現之方式，由離散化更改成連續化的模式，使其能更合理呈現人類的思維，故本研究方法是將 EEER 系統考量了人因要素，並將一符合常理且能真實反映人類思維的人爲表現變數導入至 EEER 系統中，使 EEER 系統進行風險評估時更爲嚴謹。

伍、結論

海事產業中假若能發展一個可靠的風險評估，則能夠達到防範未然的境界，並有效杜絕災害事故的發生。

由於許多海難事故都是人爲疏失釀成災害發生，因此有必要將人因要素考量至風險評估中，如此才能全面考量會導致系統出錯的影響成因。此外海事產業正面臨資料樣本

不充足的窘境，因此往往都是倚賴專家學者的專業認知作為資料來源的一環，透過模糊理論仿效人類思維將口語表達變成能供計算之用的數值，然而將模糊結論以離散化的歸屬函數表達，再採行 Mass Assignment 理論轉換成機率數值，如此並不能反映人類對於事務真實的看法，所以本研究針對 Mass Assignment 理論不合理之處，提出以曲線配適的方法將離散化的歸屬函數轉換成連續化的歸屬函數，再計算出機率數值以利使用貝葉氏網路進行風險評估。

本研究受限於海事產業之歷史資料匱乏影響，因此目前僅以國際期刊之案例作為風險評估的模擬試驗，期盼未來能夠取得真正實務上的資訊，以現實生活中的數據資料作為根據進行風險評估的應用。

參考文獻

1. 王文俊，2008，*認識 FUZZY*，第 3 版，全華圖書股份有限公司，臺北縣土城市。
2. 王晉中譯，Steven C. Chapra 著，2005，*應用數值方法：使用 MATLAB*，美商麥格羅·希爾國際股份有限公司台灣分公司，臺北市。
3. 王晉中譯，William J. Palm III 著，2010，*MATLAB7 在工程上的應用*，美商麥格羅·希爾國際股份有限公司台灣分公司，臺北市。
4. 李允中、王小璠和蘇木春，2003，*模糊理論及其應用*，全華科技圖書股份有限公司，臺北市。
5. 吳柏林，2005，*模糊統計導論：方法與應用*，五南圖書出版股份有限公司，臺北市。
6. 吳琪楓，2011，*權重模糊貝葉氏風險評估模型之發展*，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文，基隆市。
7. 孫宗瀛、楊英魁，1994，*Fuzzy 控制-理論、實作與應用*，全華科技圖書股份有限公司，臺北市。
8. 張一岑，2009，*安全工程*，全華圖書股份有限公司，台北縣土城市。
9. 張聖坤、白勇和唐文勇，2003，*船舶與海洋工程風險評估*，國防工業，北京市。
10. 袁帝文，1997，*應用數值方法*，儒林圖書有限公司，臺北市。
11. 黃俊銘譯，Lindfield, G. and Penny, J. 著，1997，*數值方法：使用 MATLAB 程式語言*，全華科技圖書股份有限公司，臺北市。
12. 黃清賢，1996，*危害分析與風險評估*，三民書局股份有限公司，臺北市。
13. 蓋墟，2003，*實用模糊數學*，凡異文化事業有限公司，新竹市。
14. 楊英魁、孫宗瀛、鄭魁香、林建德、蔣旭堂，1996，*模糊控制理論與技術*，全華科

技圖書股份有限公司，臺北市。

15. 劉文全，2005，風險知覺、風險傾向影響飛機維修人為失誤因素之探討—個案研究，國立中正大學勞工關係學系碩士論文，嘉義縣。
16. Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., and Pessel, N., 2011. A Decision-making System to Maritime Risk Assessment. *Ocean Engineering*, 38(1), 171-176.
17. Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., Saajedi, A., and Wang, J., 2006. Enabling a Powerful Marine and Offshore Decision-Support Solution through Bayesian Network Technique. *Risk Analysis*, 26(3), 695-721.
18. Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., and Wang, J., 2008. Marine and Offshore Safety Assessment by Incorporative Risk Modeling in a Fuzzy-Bayesian Network of an Induced Mass Assignment Paradigm. *Risk Analysis*, 28(1), 95-112.
19. Ren, J., Jenkinson, I., Wang, J., Xu, D. L., and Yang, J. B., 2009. An Offshore Risk Analysis Method Using Fuzzy Bayesian Network. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 131(4), 3-16.
20. Wang, J., 2006. Maritime Risk Assessment and its Current Status. *Quality and Reliability Engineering International*, 22(1), 3-19.
21. Wang, J., Sii, H. S., Yang, J. B., Pillay, A., Yu, D., Liu J., Maistralis E., and Saajedi, A., 2004. Use of Advances in Technology for Maritime Risk Assessment. *Risk Analysis*, 24(4), 1041-1063.