

巨災債券價格敏感性分析 以台灣地震和颱風數據為例

摘 要

在風險管理實務中，風險與損失發生的機率並不一致，故須衡量兩者比重，做出最合適的處理順序及決定。目前，巨災損失除了透過保險、再保險市場移轉巨災風險外，作為風險分散機制也可考量再次發行巨災債券。

本研究以台灣地區地震、颱風的直接經濟損失為資料，利用 Cox & Pederson 巨災債券的模型，採用歷史模擬法和常態分佈估計法，對相同和不同類型的巨災債券分別設定損失程度、利息收回比率和本金收回比率等三方面，以敏感性分析對價格的影響。實證結果發現購買同等損失設定值的巨災債券，地震災害的購買成本較高。就平均損失而言，颱風災害要比地震災害大一些。颱風災害巨災債券比地震災害巨災債券更容易受到債息收回比率的變化影響。

關鍵字：巨災債券、歷史模擬法、常態分佈估計法、敏感性分析

呂廣盛先生：逢甲大學風險管理與保險學系兼任助理教授

陳威榮先生：中國中南大學管理科學與工程博士

ABSTRACT

In the real world risk management practice, there are inconsistency in probability between risk and loss, therefore by measuring the proportion of both factors is the way of making the most suitable process order and decision. At present, catastrophe losses are transferred not only apart from insurance and reinsurance the market but also risk dispersion mechanisms is reconsidered when issuing catastrophe bonds..

The research information is from the direct economic loss data which caused by earthquake and typhoon in Taiwan. By using Cox & Pederson' s models of catastrophe bonds, the historical simulation and normal distribution estimation method to set up the degree of loss, interest recovery rate and principal recovery rate of the different catastrophic models and the impact of the price to the sensitivity analysis.

From the empirical findings, the purchase cost of the earthquake is higher when buying the same setting value of catastrophic bonds. With regards to the average lost, typhoon will cause serious disasters than earthquake. Comparing with earthquake catastrophic bonds, the typhoon catastrophic bonds will be affected more by the change of the debt recovery rate.

Key word : Sensitivity analysis , Catastrophe Bond, History Simulation Method, Normal distribution estimated Method.

壹、緒 論

台灣從農業轉型到工商及服務業，數十年間經濟快速發展、社會變遷迅速，生活水準提升，鄉村人口逐漸往都市發展。由於都市人口集中，民生用水、用電、瓦斯等維生系統及道路、橋梁等交通運輸，衍生都市集中化問題。因此，環境變遷、社會與經濟發展實經不起巨大天災（例如，颱風、地震）及重大傳染疾病等人禍（例如，禽流感、氣爆）的肆虐。近年來，台灣地區遭受各種巨大災害侵襲，例如：921 地震、桃芝颱風、納莉颱風與八八水災等，造成總財產損失計新台幣 4,539 億元；加上手機氾濫，電磁波、奈米產品引起科技的風險損失，形成更大範圍的財產損失與人員傷亡，導致經濟嚴重衰退，讓台灣競爭力受到重大影響。故為分散巨災風險所導致的損失，便可透過各種風險管理方法及改善機制於事故發生前、事故發生時及事故發生後，分別加以預防、減緩和改善。

因此，台灣面對全球巨災發生頻繁和再保險市場承保能量緊縮，導致再保險價格高漲；在買不到再保險的窘境下，為分散和轉移保險市場的風險，曾於 2003 年透過中央再保險公司，針對其所承保之住宅地震保險責任（危險承擔機制第三層）超過新台幣二百億元以上部分，於美國發行一億美元、為期三年的巨災債券，作為住宅地震巨災保險的財務改善機制及預防措施；到期後，因再保價格下降及發行成本太高，未再繼續發行。但台灣的資本有限，政府承擔巨災責任過大，徒增財政的困窘，影響政府財務調度，資金運作困難，足以影響台灣經濟發展。

目前，台灣產險業除了在巨災保險與再保險商品定價面臨困境外，巨災債券價格釐訂亦產生難題；由於巨災保險係逆選擇業務，不能滿足大數法則，其風險發生次數和損失金額難以進行精確估計，導致巨災債券發行價格須依賴巨災風險模型分析來做為定價參考。因此，為解決巨災風險管理危險承擔機制及巨災商品定價的風險融資問題，首先在巨災事故發生前，應從定價模型及估計概率方法，對債券價格的影響進行敏感性分析；其次在事故發生時，對災難發生頻率和損失幅度詳細分析，建立巨災資料庫以供後續定價參考；最後，在巨災事故發後，如何取得巨災債券的最佳定價，以作為繼續發行巨災債券、擴大債券的保障範圍及延長債券保障時間。

因此，為改善財產保險業經營能力及紓解保險市場巨災損失，達成巨災風險預防及分散，本研究從風險不確定性因素中尋找出對巨災債券定價方面重要的敏感性因素，分析、測算不確定風險的潛在影響，進一步進行概率分析提供依據，以了解對巨災債券價格具有最大影響程度和敏感性程度，判斷承擔巨災風險的能力，比較多方案的敏感性大小，以便在巨災債券價格值相似的情況下，從中選出不敏感的投資方案。

貳、理論基礎與文獻探討

本研究首先簡要探討巨災債券的定價模型及所採用的概率估計方法，以便後續在敏感性分析中加以引用。其次，統計方法使用歷史模擬方法及常態估計方法，對不同巨災損失，考驗不同種類的巨災債券模擬與分析。敏感性分析則是在不同巨災債券的條件下，分析巨災債券定價模型條件改變對債券價格的影響，並歸納出本研究之價格評價及風險管理策略。

一、理論基礎

資本市場理論 (Capital Market Theory) 可說明巨災風險證券組合的效率前緣與決定各類財務風險避險工具的價格，有助於巨災衍生性商品價格的評價與風險管理決策。衍生性金融商品的定價主要有兩個方法，一是運用無套利條件下之複製法或風險中立法，對衍生性金融商品加以定價，例如：Black-Scholes (1973)、Cox-Ross (1976)、Merton (1976) 等；另一個則以考慮代表性投資者的風險偏好 (以效用函數表示)，推導出衍生性金融商品的定價公式，例如：Rubinstein (1974)、Brennan (1979)、Camara (2003;2005) 等。對於以貿易財 (Tradable Goods) 為標的物的衍生性金融商品，利用無套利條件定價法為之，不但可行且容易求解。

傳統的 Black-Scholes 模型中對於選擇權定價的求解方式，乃以已知的熱力方程解，套入 B-S 偏微分方程求得歐式買、賣權的封閉解 (Closed-form Solution)。然而此種求解方式不但麻煩，而且對於現代常見的新奇選擇權 (Exotic Options) 而言，未必能順利地求出其封閉解。因此，Harrison and Kreps (1979) 和 Harrison and Pliska (1981) 乃提出以平賭測度 (Martingale measures)，對風險性證券 (包括衍生性金融商品) 加以定價。另外，Cox and Ross (1976) 也提出以風險中立技巧，來評價衍生性金融商品。以平賭測度加上風險中立技巧，來評價衍生性金融商品，可以不用對偏微分方程直接求解，能有效率地對各式各樣的衍生性金融商品，求出其封閉解 (Closed-form Solution)，若該封閉解存在的話。因此，平賭測度和風險中立乃成為求解各樣的衍生性金融商品之封閉解，不可或缺的工具與技巧。

有關巨災債券的定價理論，較少學者做這方面的理論研究。以下為推導 Cox and Pederson (1997) 所提出巨災債券定價模型結果，並以簡化的例子算出巨災債券理論價格。

(一) 符號定義：

1. $(\Omega, F, P, \{F_t\}_{t=0}^T)$ 為一濾網的概率空間 (a filtered probability space)， Ω 為一樣本空間， F 為 Ω 之子集合所形成之一個 σ 數學式 (σ -algebra)， P 為 F 上之

一概率測度， $\{F_t\}_{t=0}^T$ 為一過濾 (filtration)，且 $F_0 \subseteq F_1 \subseteq \dots \subseteq F_T = F$ 。

2. $\left(\Omega^{(1)}, F^{(1)}, P^{(1)}, \{F_t^{(1)}\}_{t=0}^T\right)$ 為金融市場變動模型 (modeling the financial market variable)，上標(1)代表金融市場變動。

3. $\left(\Omega^{(2)}, F^{(2)}, P^{(2)}, \{F_t^{(2)}\}_{t=0}^T\right)$ 為巨災風險變動模型 (modeling the catastrophe risk variable)，上標(2)代表巨災風險變動。

4. $B(0, k)$ ：面額一元，到期日為 k ，在時間 $t=0$ 的 zero-coupon bond price (the zero-coupon bond price at time 0 with maturity k)。

5. 1_A ：指標函數 (The Indicator Function)。當 $1_A(\omega) = 1$ ， $\omega \in A$ ； $1_A(\omega) = 0$ ， $\omega \notin A$ (下標 A 為空間或巨災發生或不發生)。

6. α ：假若巨災事件發生，債券持有人所取回利息的比例。

7. β ：假若巨災事件發生，債券持有人所取回本金的比例。

8. T ：巨災事件發生的時間。

(二) 假設條件：

1. 總合消費隨機過程 (the aggregate consumption stochastic process) 為：

$$\{C^*(k) \mid k=0,1,\dots,T\} \quad (C^* \text{ 為總和消費，} k \text{ 為期數，} T \text{ 代表 } T \text{ 期})$$

2. 代表性個人 (the representative agent) 的效用函數以及其對於未來的消費過程分別為：

$$\{u(k) \mid k=0,1,\dots,T\}$$

$$\{c(k) \mid k=0,1,\dots,T\} \quad (c(k) \text{ 為消費過程})$$

其中，效用函數 $u(k)$ 為可附加時間、可分離的、可區分的 (time-additive、separable、and differentiable)。

3. 一期無風險利率隨機過程為：

$$\{r(k) \mid k=0,1,\dots,T-1\} \quad (r(k) \text{ 為無風險利率隨機過程})$$

在無套利市場的情形下，省略推導過程，對於未來所有現金流量 $\{c(k) \mid k=0,1,\dots,T\}$ ，在時間 $t=0$ 的價格 $V(c)$ 為：

$$V(c) = \sum_{k=1}^T B(0,k) \times \bar{c}(k) \quad (\text{第 1 式})$$

其中，

$V(c)$ 為在時間 $t=0$ 債券價格。

$B(0,k)$ ：面額一元，到期日為 k ，在時間 $t=0$ 的零息債券價值。

$\bar{c}(k)$ 為在時間 $t=0$ ，對於未來時點 k 所可能發生的現金流量的期望值。

由第 1 式可知，巨災債券的價格可以看成是：各期期末現金流量的期望值乘上以該期為到期日的零票息債券價格，再將上述各期的金額相加總即可得之。

在第 1 式所得定價模型中，當時間為 t ，針對巨災可能發生的概率所求得之當期現金流量的期望值 $\bar{c}(k)$ 。若巨災債券所使用巨災損失指數為 $L(t)$ 且觸發條件 (trigger level) 設定為 M ，則假設在巨災發生後的損失概率 (P) 可測度 (measure) 之下，巨災債券的損失指數 ($L(t)$) 之隨機過程服從跳躍擴散的過程 (jump diffusion process)：

$$\frac{dL}{L} = \mu dt + \sigma dZ_2 + (\Gamma - 1)dN \quad (\text{第 2 式})$$

其中，

μ, σ 為常數，

損失幅度 Γ 為 i.i.d. log-normal random variable，

損失幅度 Γ 服從對數常態分布， $\ln \Gamma \sim \text{Normal}(\mu_\Gamma, \sigma_\Gamma^2)$ ，

損失頻率 N 為波氏過程中巨災損失概率 P 之參數 λ (Poisson process with intensity parameter λ)， $N \sim P(\lambda)$ ，

Z_2 為標準布朗運動 (standard Brownian motion)，

觸發條件 (Trigger Level) 設定為 M 。

由第 2 式再經推導、改寫後，巨災債券在期初 $T=0$ 時的價格則為：

$$\begin{aligned} V(c) = & \sum_{t=1}^{T-1} B(0,t) \cdot (\alpha c + c(1-\alpha) \times P_2\{L_t < M | L_0\}) \\ & + B(0,T) \times [(\beta + \alpha c) + (1 + c(1-\alpha) - \beta) \times P_2\{L_T < M | L_0\}] \quad (\text{第 3 式}) \end{aligned}$$

其中，

$B(0,k)$ 是到期日為時在 $t=0$ 時的零息債券的價值；

1_A 為指標函數；

C 為債券對於未來點的債券在 $t=0$ 時的現金流量；

α 為巨災發生時債券持有人收回的利息比率；

β 為巨災發生時債券持有人收回的本金比率；

T 為巨災事件發生的時間。

由第 3 式的結構可知：巨災債券模型是結合利率期限結構模型及巨災風險機率模型而構成一個完整的巨災定價模型。其中利率期限結構模型是建立在未考慮巨災發生之機率下的利率變動情況；巨災風險機率模型則是在考慮巨災發生機率後所建立的模型。

上式計算達到啟動事件（trigger event）之概率時，並未考慮損失之累積性，因此若針對此一特性，可以先計算出：

$A(t) = \int_0^t L_s ds$ ，再求出 $\{A(t) < M | L_0\}$ 之機率值。（ $A(t)$ 為巨災發生的累積損失機率）

如果不考慮巨災事件發生的機率，巨災債券的價格就等於債券本身本金和利率的貼現值，故吾人先考慮影響巨災事件發生的機率的因素，進一步再研究巨災發生機率的方法。

根據 Cox & Pederson 的模型定義，說明巨災事件發生的機率為： $P_2(L_t < M | L_0)$ 。其中，

P_2 代表巨災發生後巨災損失機率，

L_t 代表損失跳躍擴散過程，

M 代表觸發條件，

L_0 代表 $t=0$ 時損失過程，

$M | L_0$ 代表觸發條件金額 / $t=0$ 時損失金額。

影響此一機率的因素可分為巨災本身內在因素及外在保單因素。巨災內在因素有自然（氣候、地理、季節等）、政府及環境因素。外在因素則是保單承保種類、巨災債券契約內容等。為了增加巨災債券在市場的流通性及需求，除了建立合適的市場流通機制外，後續創新流通機制也是必要的。在不同環境條件流通模式下，巨災債券的評價模型計算參數可以是由指標函數（ 1_A ）、債券持有人收回的利息比率（ α ）、債券持有人收回的本金比率（ β ）及巨災事件發生時間（ T ）等不同

因素計算。上述的數據資料於巨災發生時就已知道，至於無息票券的貼現價格和未來某時點貼現到 $t=0$ 時的現金流量則須改為貼現到交易日 (d)，就能計算出債券轉賣後的價格評價模型，如表 1 所示。

表 1 巨災債券評價模型

評價模型		$V(c) = \sum_{t=1}^{T-1} B(d, t) \cdot (\alpha c + c(1-\alpha) \times P_2\{L_t < M L_0\})$ $+ B(d, T) [(\beta + \alpha c) + (1 + c(1-\alpha) - \beta) \times P_2(L_T < M L_0)]$
參數	$B(d, k)$	債券到期日為 k ，貼現到 $t=d$ 時的價格
	I_A	指標函數
	C	未來某時點 k ，在 $t=d$ 時的現金流量
	α	巨災發生時債券持有人收回的利息比率
	β	巨災發生時債券持有人收回的本金比率
	T	巨災事件發生的時間

而統計方法的定理，依據統計學的定義：歷史模擬法是由實際的歷史資料，來推估未來價格可能的變動情形。此法運用投資組合內各風險因子（如價格、利率、匯率等）之歷史觀察值，模擬投資組合未來價格變動的機率分配，從而計算出其風險值，因此運用此法時，必先假設標資產未來評估期間內各風險因子的變動情況與過去相同。

歷史模擬法優點在於運用歷史資料，可以較精確反應各風險因子的機率分配，將其統計特性納入考量，如一般資產報酬具有的厚尾（Fat Tail）現象，及資產間的相關性。

但歷史模擬法限制為：(1)受未來風險因子的變動與過去表現相同的假設，不一定可以反映現實狀況。(2)模擬取樣受限於歷史資料個數，若風險因子並無市場資料或歷史資料個數太少時，模擬的結果可能不具代表性，容易產生誤差。對所欲估計的量，若有一些事先的資訊，也應善加利用，有助提高估計之準確性。另外，歷史模擬法不必假設風險因數的報酬率必須符合常態分配。相對的，常態估計方法是假設所知資料服從常態分佈，然後以常態分佈估計方法求出概率值。

二、文獻探討

最早具有風險證券化的概念是出現在美國的學者 Goshay and Sandor (1973) 撰寫的「建構再保險期貨市場的可行性研究」。文中所稱的「風險證券化」，係將受保險事故影響的不確定現金流量予以包裝，用可交易的金融證券型態發行於資本市場，藉此將保險事故風險轉移由資本市場承擔。此種結合「保險」與「資本市場」新興的財務金融商品，其概念之運用來自於「資產證券化」。於 1990 年財產保險業加以運用在負債面的證券化，

承保風險在資產負債表上負債科目為基礎所發行證券。

1996 年以前，市場上只有少量的相關產品交易中，例如，CBOT 的 PCS 巨災選擇權和 AIG、Nationalwide 等保險公司發行的或有負債票據在市面上流通。輿論把造成市場無法迅速發行的原因歸咎於沒有一個能公正客觀、而且具有公信力機構來評估災害損失；也有學者指出由於再保險費率調降，使保險業者由資本市場轉回到再保險市場取得分散風險目的(Lewis and Davis, 1998)。直到 1996 年，三家著名投資銀行 Morgan Stanley, Goldman Sachs 以及 Merrill Lynch 分別成功地為幾家保險機構在資本市場上發行巨災債券，這才正式揭開交易的開端。在 1997~1998 年間，約有 15 張巨災債券在市場公開發行，總金額約 20 億美元 (McDonald, 1999)。

保險風險證券化移轉巨災風險可能面臨：流動性風險 (Liquidity Risk)、基差風險 (Basis Risk)、道德風險 (Moral Hazard)、信用風險 (Credit Risk) 及逆選擇 (Adverse Selection) 的主要風險 (Borden and Sarkar, 1996)；而巨災債券發行能成功的原因包括，對分保公司應要求高自留額，保障層次不能太高，風險移轉總額不應太低，損失啟動應不受分保公司控制，損失啟動應透明化 (Froot et al., 1999)。在面對巨災風險困境，保險業則是將巨災所引發的保險風險，透過替代風險移轉 (Alternative Risk Transfer, ART) 方式將其金融商品化，例如巨災債券、巨災選擇權及巨災交換等衍生性商品，將巨災損失分散以紓解保險公司財務困窘 (Himick, 1998)。

近年來，西方先進國家常以巨災債券、巨災選擇權及巨災期貨三者做為避險工具，其中又以巨災債券的發展，最成功轉移巨災風險。由於巨災債券所連接的風險(如地震、颱風等)與金融市場風險(如利率、匯率等)之特性分離而不相關，收益率通常是倫敦銀行同業拆款利率加上風險溢酬 (LIBOR+ Risk Premium)，較一般債券的收益率高，且可以根據保險業者分散風險實際需要，以巨災所發生的危險事故(如地震)、發生地域(如美國東部)或期間等要素組合，配合業者需求所量身訂製的債券架構，受到國際資本及保險市場的重視 (王儷玲，2007)。

配合保險業者需求所量身訂製的債券，可依據蒙地卡羅模擬法建立巨災之模型。以蒙地卡羅模擬法運算損失超越概率之步驟，第一步驟即為確定每年事件發生次數，若要計算出每年災害事件的發生次數，首先必須了解每個事件的發生的間隔，而分析巨災時是利用波氏 (Poisson) 分佈，其每個巨災事件發生的間隔則是以指數分佈來分析：可以隨機算出每個事件的發生的間隔及一年災害發生總次數。當計算出每年發生災害發生次數後，便可對於災害事件損失大小進行模擬。而為了模擬災害事件大小，可在 0 與 1 之間選取隨機亂數 (Random Variable)，並計算其相對應的損失。將上述模擬方式重複 N 次便可完成第二步驟，依序完成剩餘之步驟，即可繪製出損失發生超越概率分佈 (OEP, Occurrence Exceeding Probability) 和累積損失超越概率分佈 (AEP, Aggregate Exceeding

Probability)，而在完成第一及第二步驟後便可依據蒙地卡羅建立巨災之模型（洪東謀，2009）。

本研究從另一方面考慮定價架構問題，我們將此架構分為三個模型：（1）風險因素模型建立，其範圍以巨災特性和概率分佈為依據，模型輸入資料包括歷史數據、標的所在地特徵、專家的報告等，輸出一系列隨機事件及顯著特徵等結果。（2）易損性模型建立，該模型顯示了建物、工廠、農作物的損失。從危險因素到損失金額評估，可透過土木結構技術及保險業以巨災發生後標的物修復精算數據進行估算。（3）財務模型建立，對保險和再保險標的巨災損失加以評估、計算財物損失。再根據巨災債券的設計條件，考量金融資本市場利率、匯率、信用評級等因素，精算出巨災債券價格（許丁元，2005）。

巨災債券定價模擬分類，我們可以依照金融定價模型或根據巨災債券特殊性來分。在巨災債券定價中，Harrison and Krepes（1979）於無套利模式下證明存在所謂的風險中立測度（平賭測度）“EMM”（Equivalent Martingale Measure），證券價格可通過給定期望值來加以衡量。假如證券市場是完全的，在 EMM 下，決定出唯一的價格，但如果為不完全市場，是無法得到唯一的價格解。為了能得到無套利模式下的唯一價格解，就必須取得唯一的 EMM，其中 Schweizer（1995）利用最小化變異避險的二次方效用函數求解。另外，Bizid, Jouini, Koehl（1999）將 EMM 範圍縮小化方式求解。

完全市場模型可以簡化分析，再通過假設條件，可將不完全市場轉化為完全市場。

與企業債券不同，巨災債券的違約率與金融市場不具有相關性，巨災債券的現金流也就不能由其他債券或股票的現金流進行複製，一個不完全市場的假設是不可避免，這讓無套利方法受到限制（Cox and Pederson，2000）。無論是均衡或無套利定價方式對於巨災債券言，都是公平定價。但卻無法解釋目前市場的高溢價現象，亦無法給投資者評價價格高低提供指導。Wang 的兩因素分析模型、LFC 模型、Christofiders 模型從實證角度來分析巨災債券定價。雖然此種風險架構定價方式可將高溢價考慮，但問題在於此定價方法未來的準確性有待考證，且模型也沒有對價格形成因素做詳細分析。

參、臺灣發行巨災債券價格分析

本研究將模擬分析共分為兩部分，第一部分為背景分析，簡要介紹巨災債券的定價模型及所採用的機率估計方法。第二部份針對不同巨災損失來考驗不同風險的巨災債券，模擬與分析，並詳細列出其相關條件。而敏感性分析就是在不同巨災債券的條件下，分析巨災債券定價模型條件改變對債券價格的影響，同時歸納出本研究之結論。

一、巨災債券的模型及數據

(一) 巨災債券的模型及概率的估計方法

1. 巨災債券評價模型

本研究採用 Cox & Pederson (1997) 的巨災債券文獻中簡化例子算出定價模型，巨災債券理論價格公式，係代理人理論模型（在理論基礎提及，基於均衡定價理論的巨災債券定價模型）。若市場中不發生套利機會，則存在風險中立之機率測度，經推導後，巨災債券在時間 $t=0$ 的價格為：

$$V(0) = \sum_{i=1}^{T-1} B(0, t) [\alpha c + c(1-\alpha) \times P_2(L_i < M | L_0)] \\ + B(0, T) \times \left[(\beta + \alpha c) + (1 + c(1-\alpha) - \beta) \times P_2\{L_T < M | L_0\} \right]$$

2. 機率的估計方法

如理論及文獻所述，因為巨災本身因素，無法使用機率論精確計算得到此一機率，而且資料收集非常困難，只能使用統計方法來估計此機率值的大小。本研究主要使用統計方法為歷史模擬方法及常態估計方法。

(二) 巨災債券的原始數據資料

1. 模型所採用颱風巨災數據

本研究採用資料來自台灣行政院主計處、農業發展委員會、水土保持局、內政部消防署、警政署、交通部中央氣象局、鐵路局、公路局和經濟部水利署等單位，數據為 1985~2011 年颱風重大損失資料進行計算，見表 2。

表 2 台灣颱風損失分布表

年份	房屋損毀(間)	死傷人數(人)	經濟損失年價(萬元)	實質貨幣(2002 年不變價格)
1985	42	62	146,396.10	210,078.40
1986	38569	569	2,205,479.90	3,142,834.50
1987	1882	126	419,710.10	594,689.20
1988	7	11	53,936.40	75,457.00
1989	1192	99	607,148.50	814,479.00
1990	491	115	625,460.90	805,354.20
1991	214	32	255,758.90	317,652.50
1992	17	29	324,593.00	385,941.10
1994	884	180	1,617,668.60	1,794,039.50
1995	46	45	132,424.90	141,694.70
1996	1387	553	3,908,200.10	4,056,711.70
1997	149	170	579,865.80	596,681.90
1998	56	78	1,035,933.50	1,048,138.40
1999	1	6	237,946.10	240,325.60
2000	2159	290	1,332,685.40	1,330,020.00
2001	2726	833	2,244,922.40	2,240,396.60
2002	3	10	5,611.50	5,611.50

2003	462	12	314,839.60	314,839.60
2004	386	608	1,265,973.50	1,281,165.20
2005	0	186	1,624,291.50	1,643,783.00
2006	15	9	132,737.10	134,329.80
2007	85	165	1,333,394.70	1,349,339.50
2008	91	161	1,950,724.90	1,974,133.60
2009	1163	2261	4,884,444.60	4,943,074.40
2010	0	247	13,902,947.00	14,069,782.40
2011	11	2	6,025,409.00	5,592,182.10

2.模型所採用地震巨災數據

本研究所採用資料來自台灣行政院主計處、農業發展委員會、水土保持局、內政部消防署、警政署、交通部中央氣象局、鐵路局、公路局和經濟部水利署等單位，數據的年限為 1964~2011 年芮氏五級以上地震資料進行計算，見表 3。

表 3 台灣地震損失分佈表

年份	房屋損毀(間)	死傷人數(人)	經濟損失當年價(萬元)	CPI	實質貨幣(2002 年不變價格)
1964	45610	762	9176862.8	99.84	9162180
1965	91	1	153674.25	116.35	17880
1966	38	15	11794.12	102.03	12030
1967	59	5	132920.57	103.37	13740
1972	14	2	3330.74	102.98	3430
1978	149	27	33810.67	142.22	35050
1982	0	4	180.67	166.05	300
1986	70	62	15571.92	142.5	22190.00
1990	14	2	2564.10	128.7	3300
1991	0	0	0	124.2	0
1992	0	0	0	118.9	0
1993	0	0	0	118.9	0
1994	25	4	3913.44	110.9	4340
1995	7	19	3395.7	106.9	3630
1998	183	33	118178	101.2	119596
1999	105858	14052	29051217.71	101.0	29341730.5
2000	0	11	3254.41	99.8	3247.9
2001	0	3	90.18	99.8	90
2002	167	277	36180	100.0	36180
2003	0	25	450	100.0	450
2004	0	3	3160.75	101.9	3220.8
2006	28	81	14972.34	105.0	15512.8
2009	0	3	82.11	109.6	90
2010	19	4	65863	101.2	66653.35
2011	0	0	0	92.81	0

依據表 3 的損失金額設定損失範圍，然後利用歷史估計法計算損失概率，即計算出損失高於設定好的損失在整個損失樣本中所占的比率，估計出可能的損失概率。進一步，使用常態分佈估計法來估計可能損失概率。本研究首先運用工程計算軟體及 Excel 計算出損失資料中的期望值 168.6865，標準差 632.2594，本研究假設損失資料符合常態分佈，就可以求出各個損失段出現的可能概率。隨機變數 L 服從常態分佈 (168.6865, 632.2594)，它落在某區域的概率就可以由常態估計方法求得。再將損失範圍代入就可以求得損失可能的概率。具體的結果及過程如下：

隨機變數 L 落在 $(\mu - k\sigma, \mu + k\sigma)$ 內的概率可由下面公式求出：

$$P(|L - \mu| < \sigma) = 2I(k) - 1$$

其中， μ 為 168.6865， σ 為 632.2594， k 則可由常態分佈數據表查得。

表 4 歷史估計法下損失概率

損失程度(億元)	損失概率
5	0.154839
10	0.012903
15	0.012903
20	0.000000
25	0.000000
30	0.000000
35	0.000000
40	0.000000
45	0.000000
50	0.006452

表 5 不同損失概率對應的損失程度

損失程度 L (億元)	$\ln L$	P	實際損失概率
5	1.609438	0.22360495	0.154839
10	2.302585	0.21602870	0.012903
15	2.708050	0.19724962	0.012903
20	2.995732	0.17915698	0.000000
25	3.218876	0.16328977	0.000000
30	3.401197	0.14960665	0.000000
35	3.555348	0.13779593	0.000000
40	3.688879	0.12754054	0.000000
45	3.806662	0.11857109	0.000000
50	3.912023	0.11066931	0.006452

以上是兩種估計方法得到的損失概率的情況。

本研究提出幾個假設作為債券價格基礎：(1) 本金損失比率為 20%，(2) 利息設定為不損失，(3) 市場半年利率設定為 6%，(4) 票面利息為 1%，(5) 巨災債券面值為 100 元，(6) 每半年付息一次，(7) 風險期間為 18 個月。基於假設條件，運用求出的概率，則可得到巨災債券理論價格。例如，使用歷史估計法所求出的債券價格，可比較在不同損失程度下債券的價差與變動情形，如表 6。

表 6 歷史估計法得到的債券價格

第一期債息	第二期債息	本金與第三期債息	債券價格	價格差	變動百分比
0.943	0.89	68.525	70.358	0.65	0.9576%
0.943	0.89	67.983	69.816	-0.542	-0.7910%
0.943	0.89	69.500	71.333	1.517	2.2314%
0.943	0.89	67.875	69.708	-1.625	-2.3381%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	67.875	69.708	0.000	0.0000%
0.943	0.89	68.145	69.978	0.27	0.3978%

其中，數據的計算方法如下：

第一期債息貼現值 = $1 / (1 + 6\%)$

第二期債息貼現值 = $1 / (1 + 6\%)^2$

本金與第三期債息貼現值 = $[(\text{本金中不會損失的部分} + \text{債息}) + \text{本金中可能損失的部分} \times \text{本金損失的可能性}] / (1 + 6\%)^3$

債券價格 = 第一期債息貼現值 + 第二期債息貼現值 + 本金與第三期債息貼現值

價格差 = 兩種不同損失情況下的價格差異。

另外，也可以依照常態分佈估計法來求出債券價格，如表 7。

表 7 常態分佈估計法得到的債券價格

第一期債息	第二期債息	本金與第三期債息	債券價格	價格差	變動百分比
0.943	0.89	68.813	70.646	0.938	1.3631%
0.943	0.89	69.688	71.521	0.875	1.2712%
0.943	0.89	70.359	72.192	0.671	0.9629%
0.943	0.89	70.883	72.716	0.524	0.7448%
0.943	0.89	71.302	73.135	0.419	0.5911%
0.943	0.89	71.643	73.476	0.341	0.4782%
0.943	0.89	71.924	73.757	0.281	0.3932%
0.943	0.89	72.158	73.991	0.234	0.3253%
0.943	0.89	72.355	74.188	0.197	0.2730%
0.943	0.89	72.521	74.354	0.166	0.2294%

二、巨災債券價格敏感性分析：同種類型

依據 Cox & Pederson 在 1997 年提出巨災債券定價模型，運用上述數據資料，對同種類的巨災債券，研討模型在各個因素改變的情況之下，巨災債券價格產生變化情形。模型如下：

$$V(c) = \sum_{t=1}^{T-1} B(0, t) [\alpha c + c(1 - \alpha) \times P_2(L_t < M | L_0)] \\ + B(0, T) [(\beta + \alpha c) + (1 + c(1 - \alpha) - \beta) \times P_2(L_T < M | L_0)]$$

其中， $B(O, k)$ 、 c 、 α 、 β 等參數定義如表一巨災債券評價模型。

本研究採用巨災債券作敏感性估計，巨災債券乃指巨災事件觸發條件為巨災造成總損失超過某設定啟動數值的債券。

本研究討論各種參數的變化對於巨災債券影響。假設某金融機構發行了一定數量的巨災損失債券，具體假設如下：

(1) 發行金額為 8,000 萬美元；(2) 本金損失比率為 20%，利息不損失；(3) 保險標的為台灣新竹科學園區；(4) 風險期間為 18 個月；(5) 損失程度，即觸發條件為新台幣 50 億元；(6) 票面債息為 LIBOR 加上 0.5%；(7) 債息為 1%，每半年支付債息一次；(8) 市場（半年）利率假定為 6%；(9) 債券利息為 LIBOR+0.5%。

對於同種類型巨災債券的敏感性分析，所稱同種類巨災是指巨災同樣為地震或是颱風單一種類而言。

本研究採用敏感性分析是參考 Cox & Pederson 在 1997 年提出巨災債券定價模型，研究包括：損失程度、本金收回比率、利息收回比率等項在單一巨災風險，並選取不同

的巨災種類，探討與分析其改變對整個債券價值的影響大小。首先，本研究只選取單一種類型－地震資料的數據做評估。

(一) 設定損失程度對價格影響

本研究仍然參考上述模型（見第 3 式）註記雙下橫線部分為變化部分。

$$\underline{\underline{V(c)}} = \sum_{t=1}^{T-1} B(0,t)[\alpha c + c(1-\alpha) \times P_2(L_t < \underline{\underline{M}} | L_0)] \\ + B(0,T)[(\beta + \alpha c) + (1 + c(1-\alpha) - \beta) \times P_2(L_T < \underline{\underline{M}} | L_0)]$$

表 8 [歷史估計法]設定損失程度與債券價格的關係

損失程度(億元)	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
5	0.154839	70.358	0.65	0.9576%
10	0.012903	69.816	-0.542	-0.7910%
15	0.012903	71.333	1.517	2.2314%
20	0.000000	69.708	-1.625	-2.3381%
25	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
30	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
35	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
40	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
45	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
50	0.006452	69.978	0.270	0.3978%

表 9 [常態估計法]設定損失程度與債券價格的關係

損失程度(億元)	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
5	0.22360495	70.646	0.938	1.3631%
10	0.21602870	71.521	0.875	1.2712%
15	0.19724962	72.192	0.671	0.9629%
20	0.17915698	72.716	0.524	0.7448%
25	0.16328977	73.135	0.419	0.5911%
30	0.14960665	73.476	0.341	0.4782%
35	0.13779593	73.757	0.281	0.3932%
40	0.12754054	73.991	0.234	0.3253%
45	0.11857109	74.188	0.197	0.2730%
50	0.11066931	74.354	0.166	0.2294%

將表 8、表 9 的數據繪製成圖，可看到損失程度與債券價格的關係，如圖 1。

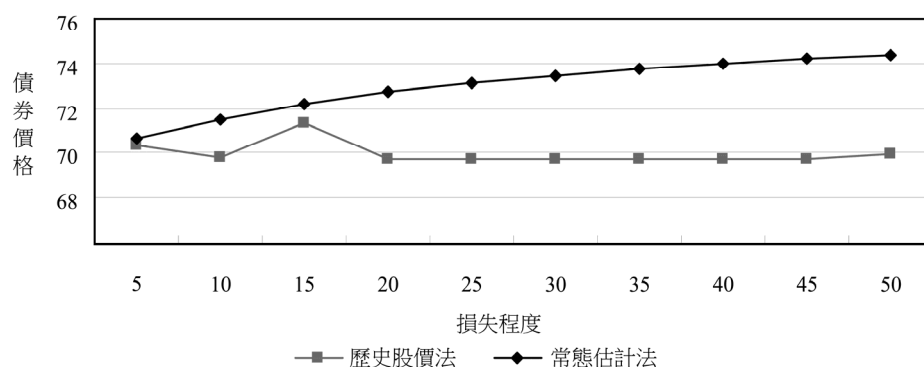


圖 1 損失程度與債券價格的關係

從圖 1 中，隨著損失程度的提高，巨災事故造成本金損失的可能性會降低，因此巨災債券的價格呈上升趨勢。另外，由於歷史估計方法所需要的數據量非常龐大，能蒐集到的數據實在有限，所以它的曲線並不平滑，且常態估計方法本身對於風險可能性的估計就較大，故在相同損失程度情況下常態估計法債券價格比歷史估計法要高。

(二) 利息收回程度對債券價格的影響

利息收回比率是指當預先設定的巨災事故發生時，債券投資者可以繼續領取利息比例。下列模型中有下雙橫線部分為變化的部分。

$$\underline{\underline{V(c)}} = \sum_{t=1}^{T-1} B(0, t) [\underline{\underline{\alpha c}} + c(1 - \underline{\underline{\alpha}}) \times P_2(L_t < M | L_0)] \\ + B(0, T) [(\beta + \underline{\underline{\alpha c}}) + (1 + c(1 - \underline{\underline{\alpha}}) - \beta) \times P_2(L_T < M | L_0)]$$

表 10 [歷史估計法]利息收回比率與債券價格的關係

債息收回的比率	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
0.1	0.0323	69.70984819		
0.2	0.0323	69.71212543	0.00227724	0.00367%
0.3	0.0323	69.71440267	0.00227724	0.00367%
0.4	0.0323	69.71667991	0.00227724	0.00367%
0.5	0.0323	69.71895715	0.00227724	0.00367%
0.6	0.0323	69.72123439	0.00227724	0.00367%
0.7	0.0323	69.72351163	0.00227724	0.00367%
0.8	0.0323	69.72578887	0.00227724	0.00367%
0.9	0.0323	69.72806611	0.00227724	0.00367%
1.0	0.0323	69.73034335	0.00227724	0.00367%

表 11 [常態估計法]利息收回比率與債券價格的關係

債息收回的比率	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
0.1	0.142122	69.71759096		
0.2	0.142122	69.72761096	0.01002	0.01437%
0.3	0.142122	69.73763096	0.01002	0.01437%
0.4	0.142122	69.74765096	0.01002	0.01437%
0.5	0.142122	69.75767096	0.01002	0.01437%
0.6	0.142122	69.76769096	0.01002	0.01437%
0.7	0.142122	69.77771096	0.01002	0.01437%
0.8	0.142122	69.78773096	0.01002	0.01437%
0.9	0.142122	69.79775096	0.01002	0.01437%
1.0	0.142122	69.80777096	0.01002	0.01437%

將表 10、11 的數據繪圖，可以看到利息收回比率與債券價格的關係，如圖 2。

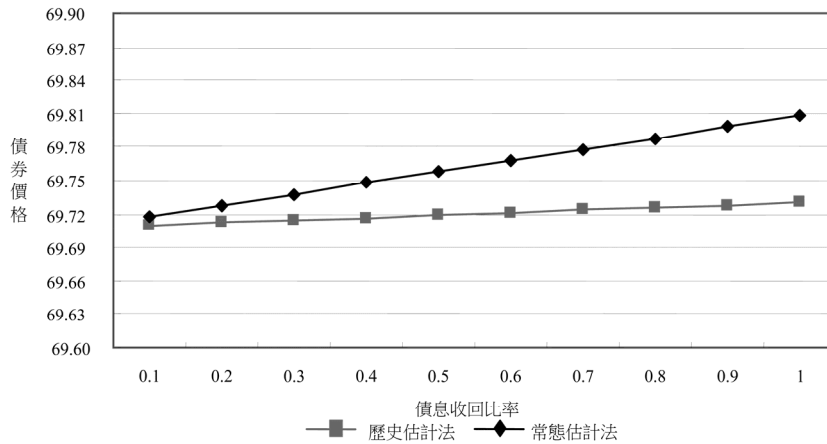


圖 2 利息收回比率與債券價格的關係

從圖 2 可以看出，隨著利息收回比率上升，債券的價格也在上升。因為債息收回比率越高，則暴露在風險下的債息減少。另外，巨災風險損失的可能性越大，圖形的斜率也就越大。這也就是常態估計法的圖形斜率比歷史估計法的斜率要高的原因。

(三) 本金收回比率對債券價格的影響

本金收回比率是指在巨災事故發生時，債券投資者仍舊可以得到本金數目與本金比值。下列模型中有下雙橫線部分為變化的部分。

$$\begin{aligned}
 \underline{\underline{V(c)}} = & \sum_{t=1}^{T-1} B(0, t) [\alpha c + c(1 - \alpha) \times P_2(L_t < M | L_0)] \\
 & + B(0, T) [(\underline{\underline{\beta}} + \alpha c) + (1 + c(1 - \alpha) - \underline{\underline{\beta}}) \times P_2(L_T < M | L_0)]
 \end{aligned}$$

表 12 [歷史估計法]本金收回比率與債券價格的關係

本金的收回比率	損失概率	第三期債息與本金	債券價格	價格差	變動百分比
0.1	0.0323	84.93815364	86.77115364		
0.2	0.0323	85.20935067	87.04235067	0.27119703	0.3116%
0.3	0.0323	85.4805477	87.3135477	0.27119703	0.3106%
0.4	0.0323	85.75174473	87.58474473	0.27119703	0.3096%
0.5	0.0323	86.02294176	87.85594176	0.27119703	0.3087%
0.6	0.0323	86.29413897	88.12713897	0.27119703	0.3077%
0.7	0.0323	86.56533582	88.39833582	0.27119703	0.3068%
0.8	0.0323	86.83653285	88.66953285	0.27119703	0.3059%
0.9	0.0323	87.10772988	88.94072988	0.27119703	0.3049%
1.0	0.0323	87.37892691	89.21192691	0.27119703	0.3040%

表 13 [常態估計法]本金收回比率與債券價格的關係

本金的收回比率	損失概率	第三期債息與本金	債券價格	價格差	變動百分比
0.1	0.142122	17.03104239	77.37915220		
0.2	0.142122	25.66589197	78.33377916	8.63484958	0.314007182%
0.3	0.142122	34.30074155	79.28840614	8.63484958	0.238969152%
0.4	0.142122	42.93559113	80.24303312	8.63484958	0.192877540%
0.5	0.142122	51.57044071	81.1976601	8.63484958	0.161690884%
0.6	0.142122	60.20529029	82.15228708	8.63484958	0.139185808%
0.7	0.142122	68.84013987	83.10691406	8.63484958	0.122180075%
0.8	0.142122	77.47498945	84.06154104	8.63484958	0.108878006%
0.9	0.142122	86.10983903	85.01616802	8.63484958	0.098187068%
1.0	0.142122	94.74468861	85.97079500	8.63484958	0.089408327%

將表 12、13 的數據繪圖，可以看到利息收回比率與債券價格的關係，如圖 3。

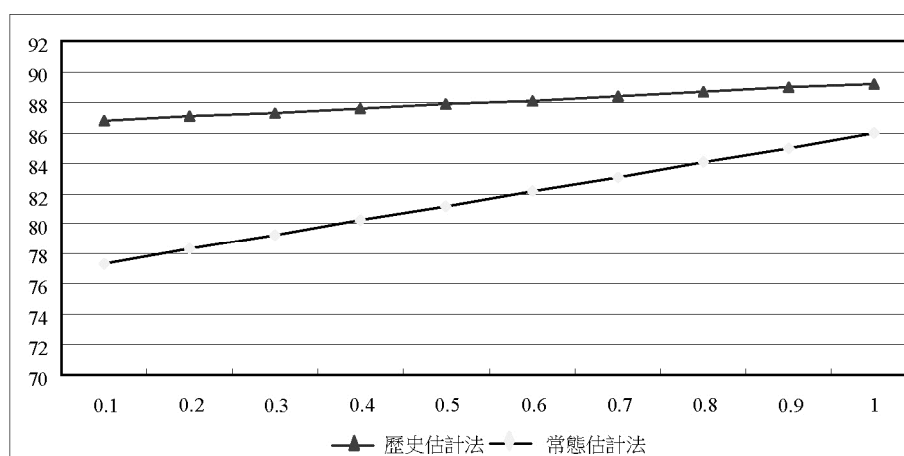


圖 3 本金收回比率與債券價格的關係

研究結果表明：隨著本金收回比率提高，暴露在風險下本金數目減少，債券價格相應上升。另外，圖形的斜率隨著風險概率提高而上升。

三、巨災債券價格敏感性分析：不同類型

依據 Cox & Pederson 在 1997 年提出巨災債券定價模型，運用上述數據資料，對不同種類型的巨災債券，探討模型在各個因素改變的情況之下，巨災債券價格產生變化情形。故本研究只採取歷史估計法，巨災種類則設定為地震與颱風，其他的數據與上述同種類巨災債券分析內容相同，仍然考率損失程度、利息收回比率、本金收回比率變化時，分析不同巨災對巨災債券價格產生的變動情形。此處，本研究假設：（1）本金損失比率為 20%，（2）保險標的為台灣新竹科學園區，（3）風險期間 18 個月，（4）債息為 1%，債息每半年付一次，（5）市場(半年)利率假設為 6%。

（一）設定損失程度的變化

本研究仍參考上述模型。其中之下雙橫線部分為損失程度變化的部分。

$$\underline{V(c)} = \sum_{t=1}^{T-1} B(0, t) [\alpha c + c(1 - \alpha) \times P_2(L_t < \underline{\underline{M}} | L_0)] \\ + B(0, T) [(\beta + \alpha c) + (1 + c(1 - \alpha) - \beta) \times P_2(L_T < \underline{\underline{M}} | L_0)]$$

表 14 [歷史估計法]設定損失程度與債券價格的關係（地震）

損失程度(億元)	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
5	0.154839	70.358	0.65	0.9576%
10	0.012903	69.816	-0.542	-0.7910%
15	0.012903	71.333	1.517	2.2314%
20	0.000000	69.708	-1.625	-2.3381%
25	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
30	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
35	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
40	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
45	0.000000	69.708	0.000	0.0000%
50	0.006452	69.978	0.270	0.3978%

表 15 [歷史估計法]設定損失程度與債券價格的關係（颱風）

損失程度(億元)	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
5	0.008333	69.742553	1.867983	2.752%
10	0.008333	69.777536	0.034983	0.0502%
15	0.016667	68.084139	-1.693397	-2.42685%
20	0.000000	67.87457	-0.209569	-0.3078%
25	0.016667	68.224419	0.349849	0.51543%
30	0.000000	67.87457	-0.349849	-0.51279
35	0.016667	68.364358	0.489788	0.7216%
40	0.008333	68.154332	-0.210026	-0.30721%
45	0.000000	67.87457	-0.279762	-0.41048
50	0.125000	73.122191	5.247621	7.73135%

由表 14、表 15，可以將兩種災難進行對比。

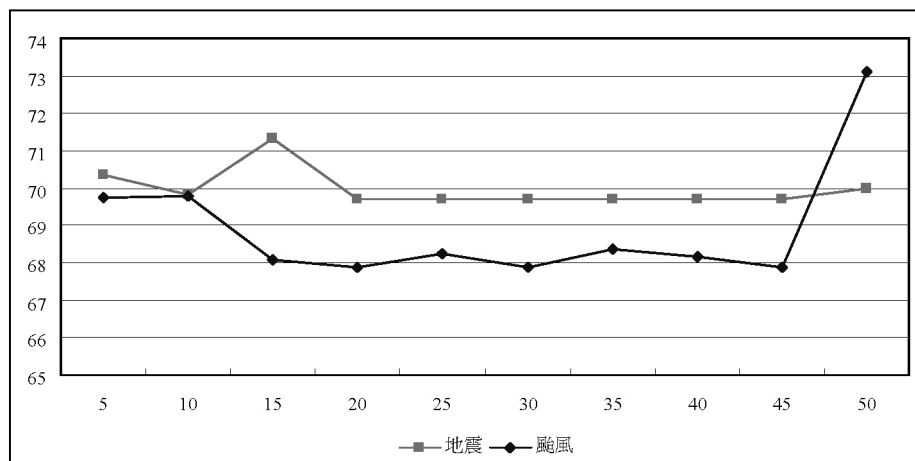


圖 4 損失程度與債券價格的關係

從圖 4 中可知，與地震巨災相同，因觸發事件發生的可能性降低，隨著設定巨災損失程度的增高，颱風巨災債券的價格也是上升的。而購買同等損失設定值的巨災債券，地震災害需付得更多。就平均損失而言，颱風災害要比地震災害大一些。

（二）利息收回比率的變化

利息收回比率是指當預先設定的巨災事故發生時，債券投資者可以繼續領取利息比例。下列模型中的下雙橫線部分為變化的部分。

$$\begin{aligned}
 \underline{\underline{V(c)}} = & \sum_{t=1}^{T-1} B(0, t) [\underline{\underline{\alpha c}} + c(1 - \underline{\underline{\alpha}}) \times P_2(L_t < M | L_0)] \\
 & + B(0, T) [(\beta + \underline{\underline{\alpha c}}) + (1 + c(1 - \underline{\underline{\alpha}}) - \beta) \times P_2(L_T < M | L_0)]
 \end{aligned}$$

表 16 [歷史估計法]利息收回比率與債券價格的關係（地震）

債息收回的比率	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
0.1	0.0323	69.70984819		
0.2	0.0323	69.71212543	0.00227724	0.00367%
0.3	0.0323	69.71440267	0.00227724	0.00367%
0.4	0.0323	69.71667991	0.00227724	0.00367%
0.5	0.0323	69.71895715	0.00227724	0.00367%
0.6	0.0323	69.72123439	0.00227724	0.00367%
0.7	0.0323	69.72351163	0.00227724	0.00367%
0.8	0.0323	69.72578887	0.00227724	0.00367%
0.9	0.0323	69.72806611	0.00227724	0.00367%
1.0	0.0323	69.73034335	0.00227724	0.00367%

表 17 [歷史估計法]利息收回比率與債券價格的關係（颱風）

債息收回的比率	損失概率	債券價格(元)	價格差(元)	變動百分比
0.1	0.1212	69.71611589		
0.2	0.1212	69.72466084	0.0085449	0.012245%
0.3	0.1212	69.74175068	0.0085449	0.012245%
0.4	0.1212	69.75029558	0.0085449	0.012245%
0.5	0.1212	69.75884084	0.0085449	0.012245%
0.6	0.1212	69.76738538	0.0085449	0.012245%
0.7	0.1212	69.77593028	0.0085449	0.012245%
0.8	0.1212	69.78447518	0.0085449	0.012245%
0.9	0.1212	69.79302008	0.0085449	0.012245%
1.0	0.1212	69.80156498	0.0085449	0.012245%

由表 16、表 17，可以將兩種災難進行對比。

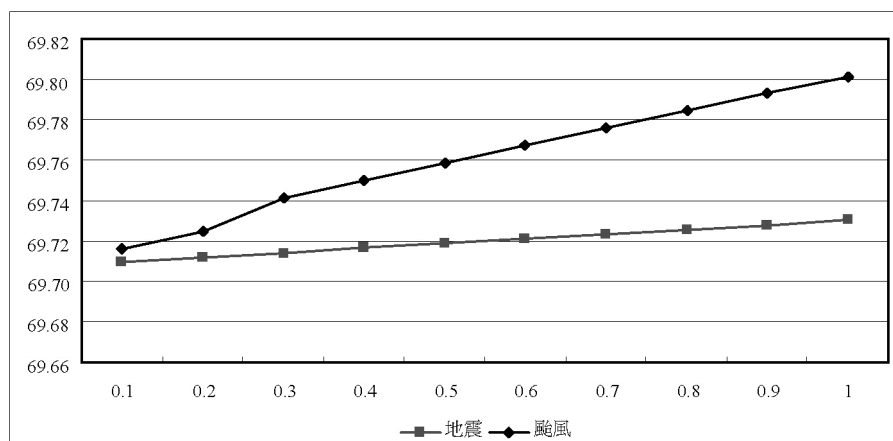


圖 5 利息收回比率與債券價格的關係

從圖 5 可以看出，無論地震或是颱風災害，債息收回比率變化對於債券的價格變化都不大，主要原因是所設 1% 債息不高。研究結果表明，颱風災害巨災債券比地震災害的巨災債券更容易受到債息收回比率變化影響。

（三）本金收回比率的變化

本金收回比率是指在巨災事故發生時，債券投資者仍舊可以得到本金數目與本金比值。下列模型中註記下雙橫線部分為變化的部分。

$$\underline{\underline{V(c)}} = \sum_{t=1}^{T-1} B(0,t)[\alpha c + c(1-\alpha) \times P_2(L_t < M | L_0)] \\ + B(0,T)[(\underline{\underline{\beta}} + \alpha c) + (1 + c(1-\alpha) - \underline{\underline{\beta}}) \times P_2(L_T < M | L_0)]$$

表 18 [歷史估計法]本金收回比率與債券價格的關係（地震）

本金的收回比率	損失概率	第三期債息與本金	債券價格	價格差	變動百分比
0.1	0.0323	84.93815364	86.77115364		
0.2	0.0323	85.20935067	87.04235067	0.27119703	0.3116%
0.3	0.0323	85.4805477	87.3135477	0.27119703	0.3106%
0.4	0.0323	85.75174473	87.58474473	0.27119703	0.3096%
0.5	0.0323	86.02294176	87.85594176	0.27119703	0.3087%
0.6	0.0323	86.29413897	88.12713897	0.27119703	0.3077%
0.7	0.0323	86.56533582	88.39833582	0.27119703	0.3068%
0.8	0.0323	86.83653285	88.66953285	0.27119703	0.3059%
0.9	0.0323	87.10772988	88.94072988	0.27119703	0.3049%
1.0	0.0323	87.37892691	89.21192691	0.27119703	0.3040%

表 19 [歷史估計法]本金收回比率與債券價格的關係（颱風）

本金的收回比率	損失概率	第三期債息與本金	債券價格	價格差	變動百分比
0.1	0.1212	75.48702956	77.32002956		
0.2	0.1212	76.38253390	78.21553390	0.89550434	1.1449%
0.3	0.1212	77.27803824	79.11103824	0.89550434	1.1320%
0.4	0.1212	78.17354258	80.00654258	0.89550434	1.1193%
0.5	0.1212	79.06904692	80.90204692	0.89550434	1.1069%
0.6	0.1212	79.96455126	81.79755126	0.89550434	1.0948%
0.7	0.1212	80.8600556	82.69305560	0.89550434	1.0829%
0.8	0.1212	81.75555994	83.58855994	0.89550434	1.0713%
0.9	0.1212	82.65106428	84.48406428	0.89550434	1.0599%
1.0	0.1212	83.54656862	85.37956862	0.89550434	1.0489%

由表 18、表 19，可以將兩種災難進行對比。

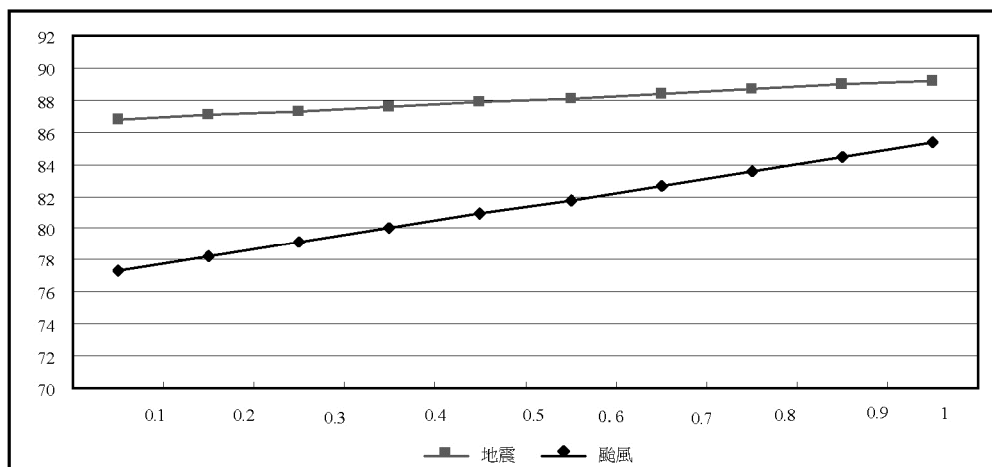


圖 6 本金收回比率與債券價格的關係

研究結果表明：隨著本金收回比率提高，本金暴露在巨災風險下隨之減少，因而使債券價格上升。另外，由於颱風災害的平均損失金額較高，故其曲線的斜率較大，而地震災害的平均損失較低，故價格曲線較平。

四、小 結

敏感性分析採用台灣地震、颱風的直接經濟損失資料，以 Cox & Pederson (1997) 巨災債券文獻的模型，統計方法使用歷史模擬法和常態分佈估計法，分別對相同種類型的巨災風險和不同種類型巨災風險，針對債券價格以損失程度、利息收回比率和本金收回比率三個方面實證價格影響。實證分析結果如下(表 20)：

表 20 巨災債券價格敏感性分析?同種類型巨災和不同種類型巨災對價格影響

	設定損失程度	利率收回比率	本金收回比率
同種類型巨災(例：颱風) 採歷史估計法及常態分佈法	隨著損失程度的提高，巨災債券的價格呈上升趨勢。 由於歷史估計方法所需要的數據量非常龐大，能蒐集到的數據實在有限，所以它的曲線並不平滑，且常態估計方法本身對於風險可能性的估計就較大，故在相同損失程度情況下常態估計法債券價格比歷史估計法要高。	隨著利息收回比率上升，暴露在風險下的債息減少，債券的價格也在上升。 巨災風險損失的可能性越大，圖形的斜率也就越大。這也就是常態估計法的圖形斜率比歷史估計法的斜率要高的原因。	隨著本金收回比率提高，暴露在風險下本金數減少，債券價格相對上升。 圖形的斜率隨風險概率提高而上升。

不同種類型巨災(例：颱風、地震) 採歷史估計法及常態分佈法	與地震巨災相同，因觸發事件發生的可能性降低，隨著設定巨災損失程度的增高，颱風巨災債券的價格也是上升的。 購買同等損失設定值的巨災債券，地震災害付得更多。 就平均損失而言，颱風災害要比地震災害大一些。	無論地震或是颱風災害，債息收回比率變化對於債券的價格變化都不大，主要原因是所設 1% 債息不高。 颱風災害巨災債券比地震災害的巨災債券更容易受到債息收回比率變化影響。	隨著本金收回比率提高，本金暴露在巨災風險隨之減少，因而使債券價格上升。 由於颱風災害的平均損失金額較高，故其曲線的斜率較大，而地震災害的平均損失較低，故價格曲線較平。
----------------------------------	---	--	--

資料來源：本研究整理

肆、結論與建議

針對本研究目的，歸納各項文獻資料、實證巨災債券價格敏感性分析結果，獲得下列幾項結論：

一、隨著巨災損失程度提高，債券價格上升，常態估計法債券價格比歷史估計法債券價格要高；地震災害較颱風災害債券需要付得更多：

實證結果表明，相同種類巨災風險債券價格，隨著損失程度的提高，巨災債券的價格呈上升趨勢。另外，在相同損失程度情況下以常態估計法債券價格比歷史估計法債券價格要高。

不同種類巨災風險債券價格隨著設定巨災損失程度的增高，地震與颱風災害風險債券的價格也是上升的。而購買同等損失設定值的巨災債券，地震災害需要付得更多。

反觀全球的再保險市場，歐美國家在遭受 2006 年卡崔那 (Katrina) 颶風及 2013 年珊迪 (Sandy) 颶風連續影響，保險與再保險集團為評等公司列入負向觀察、調降評等，導致再保市場能量緊縮，再保險價格不斷上漲。同時亦促使巨災債券價格的上升。

二、債息收回比率越高，債券價格上升；常態估計法之斜率高；颱風較地震平均損失要大，受債息回收變化影響：

實證結果表明，相同種類巨災風險債券價格，巨災風險損失的可能性越大圖形的斜率也就越大，常態估計法的圖形斜率要比歷史估計法的斜率高。債息收回比率越高，債券價格越上升。

不同種類巨災風險債券價格，購買同等損失設定值的巨災債券，地震災害需要付出價格更高。就平均損失而言，颱風災害要比地震災害大一些。颱風災害巨災債券比地震災害巨災債券更容易受到債息收回比率變化影響。

三、本金收回比率提高，颱風價格曲線較大，地震價格曲線教評，圖形的斜率隨著風險提高而債券價格上升：

實證結果表明，相同種類巨災風險債券價格，隨著本金收回比率提高，本金數目暴露在風險下減少。

不同種類巨災風險債券價格，隨著本金收回比率提高，本金數目暴露在巨災風險下減少，因而使債券價格上升。由於颱風災害的平均損失金額較高，故其曲線的斜率較大，反之，地震災害的價格曲線較平。

本研究在探討風險管理工具定價時，將時間因素、風險事故及地理區域作為控制因素，逐步分析繼續發行巨災債券以達成有效管理，故提出下列建議：

一、對於損失程度的巨災如何來擴大債券承保範圍，建立巨災風險體系。

在巨災風險體系中，以歐美國家或地區的巨災風險管理和制度的做法作為參考，首先，體系中各公、私單位如何分擔危險額度，依何基礎建立，如體系中的保險部分，那些風險可以轉移給保險公司，保險行業需要提供多大的保障；其次是保險公司可以提供什?樣的保險結構，現有的承保能量如何分配到各地區、各風險中；最後是如何與政府合作，都需要事先界定清楚承擔能力。這些議題都可繼續深入探究。

二、陸續建立相關數據體系，風險量化和建模，延長債券保障時間。

巨災風險發生的時間、地點不確定性與災區損害、傷亡估計困難，導致數據的不準確與取得不易。建立模型必須提供風險量化準確數據，作為政府單位或市場運作的債券定價、風險評估作業和損害程度預估重要方法。本研究曾就西方國家模型公司所做定價及評估作業，相同的數據，所得出結果相差極大。主要原因是模型公司建模型所依據的巨災風險數據及條件差異所致。因此，風險數據準確性影響模型的穩定性、定價適合性，有利於債券保障期間延長。

巨災債券市場並非取代傳統再保險市場，而是將巨災風險移轉至資本市場，提供多一種選擇的管理工具。因此，巨災債券市場對於保險公司和再保險公司而言是一個資金來源，市場交易費用繼續下降，加上資金來源穩定增加，有利於保險業巨災風險分散及融資作業。

三、整合建置風險定價模型，做為發行債券的依據與基礎。

風險評估除財務分擔、法令監理及評等相關之評價作業外，不管是單一種類型或多種類型的事故風險，定價模型統一性及合理性是發行債券的基礎和根據。現今歐美國家的模型公司就依客戶實際需求提出量身定做的各種風險事故定價模型。在台灣地區的巨災風險事故，除了地震之外，還有颱風、洪水、土石流及科技園區和產品等風險。有關巨災的定價模型研究，都還僅止於單一事故的研究模型，至於統合及混和多種風險事故定價模型探討，則尚付闕如。未來，巨災風險事故發生，將可能同時具有多發性或多種類型的風險發生情況。因此，如何整合各種風險定價模型，做為再次發行債券的依據與基礎，值得未雨綢繆加以深入探討，以有利於台灣地區的巨災風險管理。

參考文獻

- 1.許丁元 (2005), 巨災債券移轉風險之研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 未出版, 中壢市。
- 2.王儷玲 (2007), 巨災債券之回顧與展望, 國立政治大學風險管理與保險學系, 台北市。
- 3.洪東謀 (2009), 台灣地區天然巨災風險評估模型之建立, 國立中央大學土木工程系博士論文, 中壢市。
- 4.Bizid, A., E. Jouini, and P. F. Koehl, 1999, Pricing of nonredundant asset in a complete market, Review of Derivatives Research 2, pp.287-314.
- 5.Black, Fischer and Myron S. Scholes (1973).The pricing of options and corporate liabilities, Journal of Political Economy, 81 (3), pp.637-654.
- 6.Borden, S. and A. Sarkar, (1996) , “Securitizing Property Catastrophe risk,” Federal Reserve Bank of New York, 2, pp.1-6
- 7.Camara, Antonio (2003) , "A Generalized of the Brennan-Rubinstein Approach for the Pricing of Derivatives", Journal of Finance, 58, pp.805-819.
- 8.Camara, Antonio (2005) , "Option Prices Sustained by Risk-Preferences", Journal of Business, 78, pp.1683-1708.
- 9.Cox Samuel H. and Hal W. Pedersen. (1997) , “Catastrophe Risk Bonds” , Astin /afir Colloquia, Cairns, Australia, pp.117~140.
- 10.Cox, S.H., Pederson, H.W., (2000) ,Catastrophe risk bonds. North American Actuarial Journal 4, pp.56 – 82
- 11.Cox, J. and S. Ross (1976) , "The Valuation of Options for Alternative Stochastic Processes", Journal of Financial Economics, Vol. 3, No. 3, pp.145-166.
- 12.Cummins, J. David and Lewis, Christopher M. and Phillips, Richard D., (1998) , “Pricing Excess-of-loss Reinsurance Contracts against Catastrophic Loss” ,The Working Paper Series of the Wharton School USA.,University of Pennsylvanis, No.98-09.
- 13.David S. Laster and Mayank Ratur, (2001) , “Capital market innovation in the insurance industry” , Sigma, No 3/2001, Swiss Re.
- 14.Goshay, Robert C. and Richard L. Sandor, (1973) , An Inquiry into the Feasibility of a Reinsurance Futures Market, Journal of Business Finance, 5: pp.56-66

- 15.Harrison, J.M. and D. Kreps(1979) , "Martingales and Arbitrage in Multiperiod Securities Markets", Journal of Economic Theory, Vol. 20, pp.381-408.
- 16.Harrison, J.M. and S.R. Pliska (1981) , "Martingales and Stochastic Integrals in the Theory of Continuous Trading", Stochastic Process and Their Applications, 11, pp.215-260.
- 17.Henri, Evis, & Manfred, (1999) , "Using Catastrophe-Linked Securities to Diversify Insurance Risk: A Financial Analysis of Cat Bonds" , Journal of Insurance Issues, fall 1999, 22, 2.
- 18.Kenneth A. Froot, (1999) "The Evolving Market for Catastrophic Event Risk, " NBER Working Paper No. 7287, JEL No.22, pp. 2 and pp.13- 19.
- 19.Kenneth A. Froot & Steven E. Posner, (2001) , "The Pricing of Event Risks with Parameter Uncertainty," NBER Working Papers 8106, National Bureau of Economic Research, Inc.
- 20.Lewis, C. and K. Murdock, (1996) , "The Role of Government Contract in Discretionary Reinsurance Market for Natural Disaster" . Journal of Risk and Insurance, 63, pp.567-597.
- 21.Lewis, C. and K. Murdock, (1999) , "Alternative Means of Redistributing Catastrophic Risk in a National Risk Management System" , in The Financing of Catastrophe Risk. K. Froot ed. Chicago: Illinois, Chicago Press. Weber, M.. Theory of social and economic organization, trans. by A. M,1947
- 22.Mark Rubinstein.(1974) , "An Aggregation Theorem for Securities Markets" journal of Financial Economics, Volume 1, Issue 3, September 1974, pp.225-244
- 23.McDonald, Robert L.(1999) , "Real Options and Rules of Thumb in Capital Budgeting." Project Flexibility, Agency, and Competition ed. by Brennan, Michael J. and Trigeorgis, Lenos. Oxford University Press (1999), NY, USA.
- 24.Menoni, S., and Pergalani, F., (1996) , An attempt to link risk assessment with land use planning: A recent experience in Italy. Disaster Prevention and Management, 5, pp.6 – 21.
- 25.Merton, Robert C., (1976) . "Option pricing when underlying stock returns are discontinuous," Journal of Financial Economics, Elsevier, vol. 3(1-2), pp. 125-144.
- 26.Michael Himick (1998) , "Securitized Insurance Risk: Strategic Opportunities

- for Insurers and Investors ” , The Glenlake Publishing Company, Ltd.. , 張士傑譯 (2001)
證券化保險風險-保險人及投資人的策略性前景 , 財團法人保險事業發展中心印。
- 27.M. J. Brennan (1979) , “The Pricing of Contingent Claims in Discrete Time Models,”
The Journal of Finance Volume 34, Issue 1, pp.53 – 68, March 1979
- 28.M. Schweizer (1995a) , "Variance-Optimal Hedging in Discrete Time" Mathematics of
Operations Research 20, pp.1-32
- 29.M. Schweizer (1995b) , "On the Minimal Martingale Measure and the Föllmer-Schweizer
Decomposition" Stochastic Analysis and Applications 13, pp.573-599
- 30.Rosenbloom Jerry S (1972) , A case study in Risk Management,
- 31.Tynes, (2000) , “Catastrophe Risk Securitization” , Journal of Insurance Regulation, fall
2000, 19, 1.