

治山防洪投資計畫之效益評估— 損害函數之應用

徐 享 田*

壹、引 言

台灣地區由於地質脆弱、地震頻繁，復因人口壓力、山坡地的開發利用及豐沛而集中的雨量，因此容易造成水土流失，並使洪水挾帶大量的泥砂淤積於河道，而增加河川氾濫的機會。洪水不但威脅河川兩岸居民的生命安全，也使投資者因洪水的潛在威脅而裹足不前，從而影響河川兩岸的經濟發展。此種洪水挾帶泥砂的威脅在花蓮及台東兩縣、彰化縣八卦山台地、台北縣林口台地之邊緣地區，均有造成嚴重災害之記錄，而台灣地區多條河川之河床淤積迅速，威脅到重要交通橋樑之安全，因此，近年來治山防洪為政府積極進行之重要工作。

本省治山防洪所需之經費，均由政府編列預算，在政府稅收一定的情况下，如何充分而有效的發揮政府經費之效果，則為民意代表、政府決策人員及學術機構所共同關心的問題。因此，政府對於各項有關治山防洪工程的投資均要求進行經濟效益分析。經濟效益分析按理應於工程施工前之規劃階段即進行分析，以決定該項擬議中的防洪工程設施是否值得投資。但是本省多數治山防洪工程之投資，均在完成後才從事經濟效益的評估工作，此種事後（ex-post）之評估，無論其結果如何，均不影響已經完成之工程，即使事後之評估結果認為該投資不符合經濟效率原則，亦難補救原有缺乏效率之資金使用方式。此種情況之發生，或由於工程屬於緊急工程，必須立即施工以阻止災害之繼續擴大，或由於工程規模不大，使用資金不多，以致認為不必考慮經濟效益問題，更或由於決策人員是基於非經濟因素之考慮而對某項工程撥款。惟近年來，民意代表對政府預算的控制力量大幅提高，政府決策人員必須提出令社會大眾及民意代表信服的理由，否則預算即不容易通過。因此，為滿足這方面的需要，事前（ex-ante）經濟效益分析，已逐漸獲得應有的重視。

然而，公共投資計畫的事前評估工作，遠比事後的評估來得困難，因為該項計畫推動後，到底“能減少那一類損害”，而“減少的幅度又是如何”等問題均

* 作者為國立中興大學農經系副教授。

不太確定，故有賴工程技術人員根據投資金額的多寡、工程品質、自然環境等各種因素來加以評估。問題是：經濟分析人員如何運用各項工程技術的資訊，並配合過去的災害損失資料，將各類可能的效益加以數量化，俾便與投資成本相互比較，以供有關單位下定投資決策時的參考。（註1。）

事實上，為防止天然災害而擬推動之公共投資，旨在減少災害發生時的經濟損失，因此防災工程的效益，主要是來自因該項工程之完成而得以減少的損害，換言之，效益與損害的減少原屬一體之兩面。這種關聯可圖以1說明之。

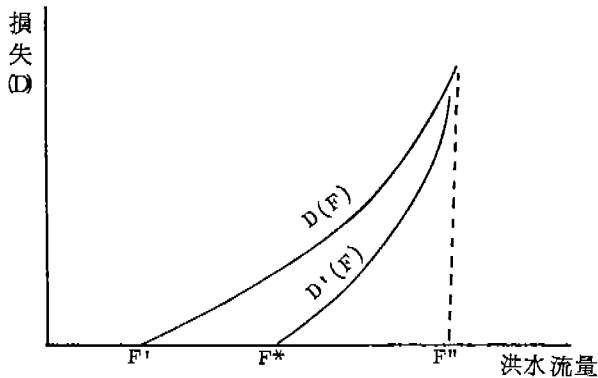


圖 1. 治山防洪之公共投資的效益

在圖1中，假設 $D(F)$ 代表沒有計畫時在各種洪水流量下的邊際損害曲線（marginal damage curve, MDC），若投資計畫完成後使 MDC 向右下方移動而成為 $D'(F)$ ，則此二曲線之間的面積，即為該投資計畫所減少之損害，亦即為該項計畫所產生之效益。

由以上的說明可知，如果吾人可有效地認定出計畫實施前後之各種損害函數

（註1.）一般而言，公共投資的決策準則有很多，但較為經濟學者所重視並常加討論者有：(1) Pareto efficiency criterion, (2) 社會福利準則（social welfare criterion）, (3) 經濟福利準則（economic welfare criterion）, (4) Kaldor - Hicks compensation criterion, (5) Pareto safety criterion, (6) 最大社會產值（Maximum value of social product）等。在最大多數的準則下，吾人均須就投資計畫的成本與效益進行評估。有關各項準則的詳細內容，可參考 Randall（1981）。

(即 $D(F)$ 和 $D'(F)$)，即可藉之評估投資計畫之經濟效益。棘手的問題是：(1)損害的種類往往繁多，難以一一歸類。(2)損害的頻率及其多寡具有高度的風險性因素，例如，在相同的洪水流量下，其於不同年度所造成的損害未必相似，而各類損害也可能有不同的機率密度函數 (probability density function)，因此，如何利用以往的資料來導出損害的機率密度函數，亦頗費思量。(3)由於投資計畫所能產生之經濟效益的最大值，係以未有該項計畫時的最大損害為極限，故與計畫有關的資金投入及其他生產因素頗不相同，因此，在設定損害函數的函數型式 (functional form) 時，不得不加小心，若一味地以傳統生產函數的型態來設定，勢必造成嚴重的錯誤。(4)治山防洪之投資方案所產生的經濟效益，往往可持續數年，因此如何選擇適當的折扣率，以便將不同年度之效益折算成現在價值 (present value)，在理論上也有諸多值得探討的餘地，畢竟折扣率的選擇對評估的結果，有極具敏感性的影響力。

本文之主要目的，即在於應用損害函數，來評估治山防洪計畫所能產生之經濟效益，並就上列各項問題，一一深入探討，冀能為未來類似之評估工作，建立正確的評估步驟與方法。

貳、理論模型

1. 損害函數 (damage function approach)

在國內所有的文獻中，應用損害函數法來對公共投資計畫進行事前的評估迄今未有所見，但在國外，則有不少學者應用。由於此一方法在概念上易於瞭解，在資料上較易於取得，而在方法論上亦有許多值得深入研究的課題，因此，近年來應用此一方法的實證分析有日益增加的趨勢。例如 Walker (1982) 曾非常具體地定義出未採用水土保持措施所產生之損害，並藉該損害函數來評估在某特定時點採用水土保持措施所能產生之經濟效益。Hageman (1983) 以洛杉磯及舊金山地區為範圍，應用損害函數法，評估新建築法規頒布施行後，對房屋在抗風及抗震能力上所能衍生之效益。Adams 等人 (1982) 亦以損害函數為工具，並應用二次規劃法 (quadratic programming) 來評估空氣污染對南加州若干主要作物的經濟損害，並以其研究成果，做為改善空氣污染品質之公共投資所能產生之效益的評估基礎。Walker 和 Young (1986) 則考慮技術變動與水土保持措施和水土流失間的錯綜關係，從而以損害函數評估新技術對防治水土流失的經濟貢獻。

上述的各項文獻，均各有其研究的主旨和對象，雖然均採用了損害函數的架構，但卻未能同時就(1)折扣率，(2)損害之機率密度函數，(3)損害函數之設定誤差等三項重要的課題深入分析。本文將針對這些缺點，在設定理論模型時逐一兼顧

之。

(1) 損害的性質與認定

山洪暴發後，常因巨量洪水挾帶可觀的砂石衝刷而下，對河川兩岸不但造成破壞性的衝擊力量，同時也因經年累月的發生而使河床淤積，進而對橋樑、堤防構成威脅。由此不難想像，因洪水氾濫而造成的損害，具有兩種主要的特徵：(1) 隨機性—亦即在其他條件不變的情況下，每次相同流量之洪水所造成的損害未必相同，因此，損害與洪水流量之間，或存在某種機率密度函數可以表示的關係，但也可能純為隨機性質。(2) 動態性—在沒有任何投資計畫的情況下，每年受到損害的邊際損害可望隨時間經過而增加，這是因為河道及其他自然環境與設施之功能都將隨時間而變化。由於此二特徵，吾人在評估過程中，即須格外重視損害機率密度之推定及折扣率選擇的問題。

由洪水所產生的損害而言，其種類繁多，雖然可藉翔實的統計方法來加以歸類，但仍須花費不少的人力、物力與時間。惟本文的重點旨在探討上述三項主要的課題，又加上現有資料的限制，故本文所研究的損害，將只限於(1)堤防被沖毀之損害函數及(2)農地流失之損害函數兩種。至於其他可能的損害，在原理上亦應按照本文所揭發的方法去進行評估。

(2) 損害之機率密度函數

損害之機率密度函數的正確型態，往往因研究的對象和範圍而異，因此，很難一概而論。在過去的文獻中，研究者經常只假設某種特定之機率密度函數，然後逕行損害之期望值的估計，而未能有效地比較各函數型態之間的適用性。

事實上，在理論上常見到的損害機率密度函數常有下列四種：

(1) Pareto 分配： $P(D) = 1 - K^{\lambda} D^{-\lambda}$ （其中 P = 機率， K = 資本投入量， D = 損害， λ = 係數）；(2) 指數分配 (exponential distribution)： $P(D) = 1 - e^{-\lambda D}$ ；(3) Logistic 分配： $P(D) = \{1 + \exp(\mu - \sigma D)\}^{-1}$ （其中 μ 、 σ 分別代表損害之均數及標準差）；(4) Weibull 分配： $P(D) = 1 - \exp(-D^c)$ （其中 c 為常數）。問題是，這些 Well-behaved 的機率密度函數，往往與實際的資料不易配合，因此，本文在設定機率密度函數時，除了考慮這些函數型態外，並將以適當的模型選擇準則 (model selection criterion)，選出較佳的函數型態，以避免模型設定誤差的產生。

(3) 損害函數的型態

損害函數型態的選擇，對效益評估也是相當重要的一環，不正確的函數型態，往往造成為數不實的設定誤差 (specification bias)，而使評估結果的可靠度大幅降低。在此，吾人可以一個實際的例子來說明此種現象。

在傳統的文獻中，學者專家們常在生產函數中設定某一變數，以資表示某種災害對產量所造成的損失。而衆所皆知的是，許多實證研究往往主觀地設定

Cobb-Douglas 生產函數；亦即

$$Q = cL^\alpha K^\beta F^\gamma \dots\dots\dots(1)$$

其中 Q = 產量；L = 勞動；K = 資本；F = 對產量造成損害之變數，例如洪水流量。

然而，如前所言，因洪水而造成的產量損失，絕不可能超過其潛在的產出（亦即最大可能的產出水準），亦即損害的數額係以潛在的產出為其極限。在另一方面，損害也不可能小於 0，而致實際的產出小於 0 或大於潛在的產出。因此，上述的函數設定方式，隱含洪水流量(F)對產量的影響型態，與其他生產因素（即 L 與 K）雷同，這在實務上是不太可能的。因此，我們有必要針對損害的特性來修正上述的函數型態，例如：

$$Q = cL^\alpha K^\beta [P(F)]^\gamma \dots\dots\dots(2)$$

在上述的設定方式下，吾人以洪水流量的累積機率密度函數 P(F) 取代了 F。由於 $0 \leq P(F) \leq 1$ ，因此實際的產量水準將介於 0 與 $cL^\alpha K^\beta$ 之間，前者代表洪水的氾濫使所有產量化為烏有，後者則表示沒有任何損害發生，故實際產量等於潛在的產量。如此，代表環境因素之變數（即 F）的變動乃較能反應出損害的基本特性。在這種情況下，根據計量經濟學的原理，吾人可更進一步證明：如果我們也像傳統文獻般地誤將式(2)設定為式(1)的話，則所得之係數推定量將缺乏一致性，茲說明如下：

式(1)及(2)可分別改寫如下：

$$q = a_0 + \alpha l + \beta k + \gamma f \dots\dots\dots(1a)$$

$$q = a_0 + \alpha l + \beta k + \gamma \ln p(F) \dots\dots\dots(2a)$$

其中 $q = \ln Q$ ； $a_0 = \ln c$ ； $l = \ln L$ ； $k = \ln K$ ； $f = \ln F$ （亦即 $F = e^f$ ）

根據 Taylor's expansion， $\ln p(F)$ 可以 F（代表 F 之平均值）

為中心而展開如下：

$$\ln p(F) = \ln p(\bar{F}) + E(\bar{F})(f - \bar{F}) + \frac{1}{2} \cdot e(\bar{F}) / \bar{F} [1 + e(\bar{F}) - E(\bar{F})] (f - \bar{F})^2 + \dots\dots\dots(3)$$

其中 $E(\bar{F}) = (\partial p(\bar{F}) / \partial F) / P(\bar{F})$ ； $e(\bar{F}) = \bar{F} (\partial^2 P(\bar{F}) / \partial F^2) / P(\bar{F})$ 。

為簡化起見，吾人不考慮式(3)中二次式之各項，並代入式(2a)中，即可得

$$q = a_0 + \alpha l + \beta k + \gamma \ln p(\bar{F}) + \gamma E(\bar{F})(f - \bar{F})$$

$$= \{ a_0 + \gamma \ln p(\bar{F}) - \gamma E(\bar{F}) \bar{F} \} + \alpha l + \beta k + \gamma E(\bar{F}) f$$

由此可知，若吾人誤將式(2a)誤設為式(1a)，並就式(1a)加以估計，則所得之常數項與 γ 之推定量（分別以 \hat{a}_0 和 $\hat{\gamma}$ 表示之），將不等於真實的母數（分別為 $a_0 + \gamma \ln p(\bar{F}) - \gamma E(\bar{F}) \bar{F}$ 和 $\gamma E(\bar{F})$ ）。

由於我們已經知道 $0 \leq P(F) \leq 1$ ，故知 $\ln p(F) \leq 0$ ，而且 $E(\bar{F}) \geq 0$ （因為 P(F) 為累積機率密度函數；故 $\partial P / \partial F \geq 0$ ），此外，由於 F 對產量有負面影響，

故 $\gamma < 0$,

所以：

$$p \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{a}_n < \bar{a}_n = a_n + \gamma \ln P(F) - \gamma E(\bar{F}) \bar{F}$$

$$p \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{r} > \bar{r} = \gamma F(\bar{F}) \quad (\text{註 2})$$

由此可知，不正確的函數設定方式，將導致係數推定值有所偏誤。就上述例子而言， F 之係數 (γ) 明顯地高估，如此即可能高估效益值。吳功顯與鄭秋桂 (民國 74 年) 在評估東部及蘭陽地區之治山防洪整體治理計畫時，曾得到高達 7.34 : 1 之益本比，其中效益之所以如此偏高，或即與此種設定誤差有密切關聯。

本文在實證分析時，將充分考慮此一現象，以免重蹈覆轍。

(4) 評估模型之設定

根據以上的分析，吾人首先設定了下列一般性的方程式系統：

(1) 洪水流量之機率密度函數

$$P = P(F) \dots \dots \dots (3)$$

(2) 損害函數：

$$D_{i,t} = D_{i,t}(F) \dots \dots \dots (4)$$

其中下標 i 及 t 分別代表損害的種類及時間。

根據式(3)與式(4)，效益之期望值的現值 (PVB) 乃可以下式估算之：

$$PVB = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \left\{ \int_{F'}^{F''} D^0_{i,t}(F) \cdot P(F) dF - \int_{F^*}^{F''} D^1_{i,t}(F) \cdot P(F) dF \right\} \dots \dots \dots (5)$$

其中 r = 折扣率；

F' , F^* , F'' 之意義如圖 1 中所示；

D^0 = 沒有計畫時之損害函數；

D^1 = 有計畫時之損害函數。

至於式(3)與式(4)之函數型態，吾人並不擬主觀地於事前加以假定，而係根據 Pesaran (1974) 的模型選擇準則而選定的，換句話說，在實證分析時，我們是採“讓樣本資料為其本身說話” (let the data speak for themselves) 的原則，以免產生如前一節所說的各種誤差。Pesaran 的選擇準則可陳述如下：

(註 2.) 根據式(1)所得之 OLS 推定量為 $\hat{\gamma} = \gamma \cdot \epsilon_p(\epsilon^{\bar{F}}) / \epsilon F$ ，但因 F 為 Concave function，故由 Jensen's Inequality 可知：
 $\epsilon_p(\epsilon^{\bar{F}}) / \epsilon F > \epsilon_p(\bar{F}) / \epsilon F$
 所以 $p \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{\gamma} > \bar{\gamma}$ 。

Pesaran 的檢定統計量為：

$$N = \hat{T} / \sqrt{V}$$

其中 $\hat{T} = (n/2) \cdot \log(\hat{\sigma}_{22}^2 / \hat{\sigma}_{11}^2)$ ；

$$\hat{V} = \hat{\sigma}_{11}^2 / \hat{\sigma}_{21}^2 \cdot \hat{e}'_B e_B$$
；

$$\hat{\sigma}_{21}^2 = \hat{\sigma}_{11}^2 + 1/n (\hat{e}'_A e_A)$$
；

n = 樣本數；

$\hat{\sigma}_{11}^2$ = 當函數形式屬於虛無假設下之形式時的殘差變異數；

$\hat{\sigma}_{22}^2$ = 當函數形式屬於對立假設下之形式時的殘差變異數；

\hat{e}_A = 係以虛無假設下之函數形式所求得之應變數的估計值為應變數，並以對立假設下之解釋變數為自變數而求得之 OLS 殘差的向量；

e_B = 係以對立假設下之函數形式所求得之應變數的估計值為變數，並以虛無假設下之解釋變數為自變數而求得之 OLS 殘差的向量。如果虛無假設下之函數形式為真，則 \hat{N} 之漸近分配 (asymptotic distribution) 即為一種標準常態分配。茲假設

\hat{N}_A = 當虛無假設下之函數形式為模型 A 所表示者而對立假設下之函數形式為模型 B 所表示者所計算出來的 \hat{N} ；

\hat{N}_B = 當虛無假設下之函數形式為模型 B 所表示者而對立假設下之函數形式為模型 A 所表示者所計算出來的 \hat{N} ；

如此，模型選擇的制定準則如下：

1. 如果 $|\hat{N}_A| < Z_\alpha$ 而且 $|\hat{N}_B| \geq Z_\alpha$ 則接受模型 A，但棄卻模型 B (其中 Z_α 代表在 α 之顯著水準下的標準常態分配臨界值)；
2. 如果 $|\hat{N}_A| \geq Z_\alpha$ 而且 $|\hat{N}_B| < Z_\alpha$ 則接受模型 B，但棄卻模型 A；
3. 如果 $|\hat{N}_A| \geq Z_\alpha$ 而且 $|\hat{N}_B| \geq Z_\alpha$ 則同時棄卻模型 A 和 B；
4. 如果 $|\hat{N}_A| < Z_\alpha$ 而且 $|\hat{N}_B| < Z_\alpha$ 則無法棄卻任何一種模型。

2. 折扣率之選擇

任何投資計畫均須要處理各種效益與成本在不同時期的價值問題，一方面是因為其總投資金額可能係分年投入，或雖為一次投入，但每年仍有維修費用，而投資結果之利益，也往往分年產生。不同年度之投入資金或產生之利益，其數額雖然可能相同，但是，相同的金額在不同的時點，其價值不同。對消費者而言，距離現在的時間愈遠，相同的金額所能產生之效用愈小。因此，對於未來的資金，必須加以折扣後，才能與目前的貨幣價值比較。並判定投資是否可行。

未來的資金應該用那一個水準的折扣率折算，素為許多計畫評估報告的爭論焦點。例如在美國國會或政府綠皮書 (green book) 中，其於評估公共部門的投

資計畫時，經常採用政府公債市場中之利息為折扣率。但是，一些其他的著者如 Hirschleifer (1958)，與 Milliman (1969) 等認為應根據私人部門的資本邊際生產力為折扣率。而 Marglin (1963 (a), 1963 (b) 及 Sen (1967) 認為以市場利率作為社會的時間偏好率，則有偏高之慮，故應該以比市場利率為低之利率作為折扣率。但是 Arnold C. Harberger (1968) 認為投資資金的社會成本應該是私人部門資本邊際生產力 (private sector marginal productivity of capital) 及社會的時間偏好率 (social rate of time preference) 的加權平均。其論點可由下圖 2 說明之：

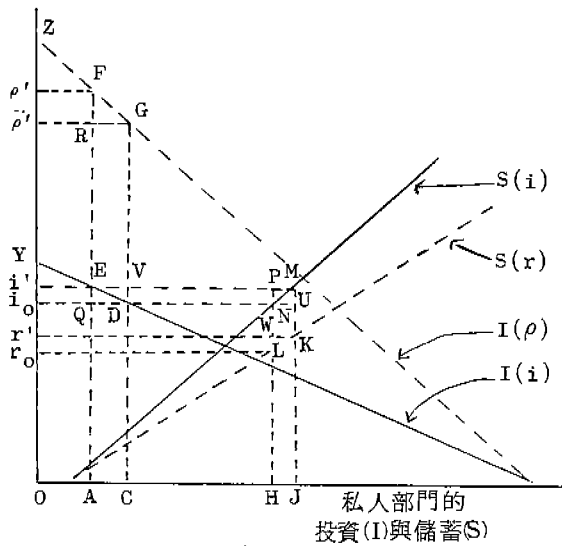


圖 2. 投資資金之機會成本

在圖 2 中， $I(\rho)$ 為含稅之投資需求曲線， $I(i)$ 為稅後投資需求曲線， $S(i)$ 為含稅之資金供給曲線， $S(r)$ 為稅後之資金供給曲線。

在原均衡情況下，私人部門投資量為 OC ，政府部門借款量為 CH ，若由於某項公共投資，政府必須增加借款，由 CH 增加為 AJ (增加量為 $AC + HJ$) 則此項增加借款額 (投資量) 之機會成本為 $ACGF + HJKL$ 之和。

$ACGF$ 為私人部門因利率上升 (i_0 上升至 i') 投資減少，使社會蒙受之損失， $HJKL$ 為儲蓄者增加儲蓄之損失。若政府借款的增加量 $AC + HJ$ 數量微小時，利率上升亦很微小，則上述之資金機會成本由下式表示：

$$W = (r \cdot \partial s / \partial i - \rho \partial I / \partial i) / (\partial s / \partial i - \partial I / \partial i) \text{ 或}$$

$$= (\bar{r} \cdot s \cdot \epsilon_s - \bar{\rho} \cdot I \cdot \epsilon_i) / (s \epsilon_s - I \epsilon_i)$$

上式中： $\bar{r} = (\sum r_k \cdot \partial s_k / \partial i) / (\sum \partial s_k / \partial i) = (\sum r_k s_k \cdot \epsilon_k) / (\sum s_k \cdot \epsilon_k)$ ；

$$\epsilon_s = i / s \cdot \partial s / \partial i = 1 / s \sum \partial s_k / \partial i = \sum s_k / s \cdot \epsilon_k$$
；

$$\bar{\rho} = (\sum \rho_j \partial I / \partial i) / (\sum \partial I / \partial i) = (\sum \rho_j I_j \epsilon_j) / (\sum I_j \epsilon_j)$$
；

$$\epsilon_i = i / I \cdot \partial I / \partial i = i / I \sum \partial I_j / \partial i = \sum I_j / I_j$$
；

\bar{r} 為各所得階層私人儲蓄之稅後淨報酬之加權平均；

ϵ_s 為各所得階層在利率變動時儲蓄彈性之加權平均；

$\bar{\rho}$ 為各私人部門資本邊際生產力之加權平均；

ϵ_i 為各私人部門在資本成本變動時投資彈性之加權平均。

根據上式，欲求使用資金之社會成本（亦即社會觀點之折扣率），必須有各部門投資額（ I_j ），投資的利率彈性（ ϵ_j ）及不同儲蓄者提供儲蓄額（ s_k ）及其儲蓄的利率彈性（ ϵ_k ）與不同投資者之報酬率（ ρ_j ）及不同儲蓄者之報酬率（ r_k ）資料，根據這些資料可求得有關的加權平均值即上述各式之 \bar{r} ， $\bar{\rho}$ ， ϵ_s 及 ϵ_i 之值，再進而求得資金的社會成本（ W ）值。在本文最後之附錄中有一節自 Harberger 文章中之實例可供參考。

參、資料來源

本文擬利用損害函數分析法探討防洪工程之經濟效益，必須以實際的洪水災害損失作為分析基礎。花蓮縣壽豐河流域目前雖有堤防保護河川下游兩岸之土地，但近年來在颱風挾帶的豪雨中，山洪暴發，造成堤防潰決之情形仍經常發生，政府有關單位擬投資防止或減輕洪水氾濫之損失，正需要從事經濟效益分析，故本文乃以台灣省水利局歷年因洪水氾濫所造成堤防潰決之修復數量及經費資料，並由花蓮縣政府之歷年災害統計資料中之花蓮縣壽豐溪兩岸洪水造成農地流失及埋沒面積之資料，配合台灣省政府農林廳農業年報中之花蓮縣各種作物栽培面積及產值資料求得洪水氾濫所造成的農業生產損失。

壽豐溪歷年洪水期之河川流量資料，為探討洪峰出現與洪水所造成之各種損失資料，該項資料除由水利局提供之資料外，並由壽豐溪平林流量站提供各年之河川流量資料作為進一步分析之基礎。

肆、實證分析

根據某一地區已發生過之洪水氾濫損失及洪峰流量資料可建立洪水損害函數 (flood damage function)，再根據工程規劃資料，可求得有計畫情況之損害函數，由有計畫與無計畫損害函數間之面積即可求得投資計畫之各年度效益，此項效益可以表示如下：(註3.)

$$E_t(B) = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \left\{ \int_{F'}^{F''} P(F) [D^0_{it}(F) - D^1_{it}(F)] \cdot dF \right\}$$

式中 $E_t(B)$: 為第 t 年度損失減少之期望值；

r : 折扣率

$P(F)$: 洪峰出現之機率函數；

$D^0_{it}(F)$: 無計畫之損失函數；

$D^1_{it}(F)$: 有計畫之損失函數；

F'' : 造成損害之每秒中最大洪峰流量；

F' : 造成損害之每秒中最小洪峰流量；

在上式等號右邊各項，如 $P(F)$ 、 $D^0(F)$ 及 F 之值均可根據次級資料求得， $D^1(F)$ 則可根據工程規劃資料求得。其值應不為零，因為雖有防洪設施，但這並不保證可以絕對的消除水患，故 $D^1(F) > 0$ 。由上式可知，防洪投資之期望值受(1)洪水機率之大小，(2)有無計畫間洪水造成破壞之差異及每單位被破壞物之價值，(3)折扣率等因素之影響。其中 $P(F)$ 並不受防洪投資之影響，因為洪峰的出現為自然界氣候現象，防洪工程並不改變 $P(F)$ 之值。因此，防洪工程之效益是由 $D^0(F) - D^1(F)$ 之差異所產生。因為 $D^0(F) > D^1(F)$ ，故防洪工程之效益是由損失之減少所產生。

上述有關投資之決定法則有一假定，即投資所能產生的結果非常明確，因此，對於有計畫與無計畫間之實質差異均能明確掌握者。但是對預防天然災害之投資如防洪設施者，究竟能減少多少之災害破壞力則不易掌握，因此，欲估計其效益確有困難。為決定某項防災設施之投資是否具有經濟效益，可從相反的角度去衡量：假設效益為已知，因為以災害損失之減少為效益，無計畫情況下之災害損失可根據以往之災害損失記錄求得其期望值。假設決策者希望將損失的期望值減少某一百分比，則該減少的部分即為該計畫之效益，有該項效益後，可委託工程規畫機構尋求技術上可行的工程設計，若為達到減少某一程度之損失所必須的設施成本低於損失減少的金額，則該項設施即值得投資興建。因此，從事經濟效益

(註3.) 在此吾人假設 $F' = F^* = F$ 而且 $F'' = \bar{F}$ 。

分析時，只要搜集歷年洪水氾濫所造成損失之資料即可求得無計畫時洪水損失之期望值。

1. 洪水發生的機率函數

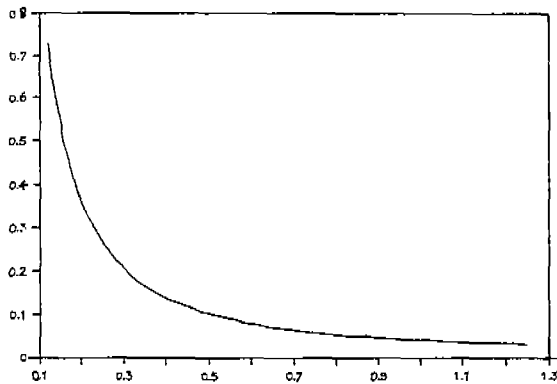
本文根據 Pesaran 之選擇準則而推定之洪水機率分配函數式為一雙對數式，亦即：

$$\ln P(F) = 2.948 - 1.3830 \ln F$$

$$(19.633) \quad (1312.4)$$

$$\bar{R}^2 = 0.6759 \quad \text{d.f.} = 22$$

其中 $130 \text{ CMS} < F < 1230 \text{ CMS}$ ，而括弧中之數值代表各係數之 t 值。由此可知，洪水流量發生之機率隨洪水量之增加而減少。根據實際資料所描繪出來的此一機率密度函數如圖 3 所示。



洪峰流量 (千立方公尺)

圖 3. 洪水流量之機率密度函數

2. 損害函數之推估

根據台灣省水利局第九工程處之統計資料，民國68年至75年之間，花蓮縣壽豐溪曾有5次洪水決堤氾濫之記錄，其中最大的洪水流量1,230立方公尺(CMS)，造成158.21公頃之農地流失，堤防毀損1.689公尺，堤防修護經費20,303,649元，而最小的洪水流量130CMS，雖然農地流失僅1.62公頃，但損毀堤防則達735公尺。根據此種資料所計算洪水流量者氾濫損失之損失函數如下：

(1) 堤防沖毀之損害函數

當河川上游豪雨發生時，集水區所承受之降雨逐漸匯集到下游地區的主要河道上，若短期間內豪雨不停，河川水位將繼續升高，河水挾帶巨石、泥砂等順流而下，巨石可能使河堤受損再加上水力之淘刷，終使堤防受損，甚至崩潰，一旦河堤崩潰，洪水即不再受規範，由缺口沖向農田，造成農田流失、作物流失之損失。在花蓮縣壽豐溪曾記錄到堤防受損而兩岸農地未受損之情況，主要原因可能是豪雨時間較短，在洪水淘空堤防基腳使堤防崩潰前，洪水即已消退，以致兩岸農地未受到洪水破壞，如民國69年造成堤防損失之珀西颱風並未造成兩岸農地損失，民國70年艾克颱風也只造成堤防損壞，但堤防外之農地則無受損記錄，下表即為歷年洪峰流量及堤防修護經費：

表 1. 花蓮縣壽豐溪歷年洪峰流量及堤防修護經費

年 度	62	63	64	66	68	69	70	71	74
洪 峰 流 量 (CMS)	1490	565	872	236	793	482	1160	1230	860
修 護 費 用 (千元)	44331	4221	19471	893	15785	1525	36180	20304	18410

根據上表資料，我們選擇了二次式的損害函數如下：

$$D^0_{1,t} = a + bF_t^2$$

$D^0_{1,t}$ ：第 t 年堤防實質修護經費（洪水造成之損失）

F_t ：第 t 年之洪峰流量

a, b ：待估計之迴歸係數

上式以實際資料求得之統計量如下：

$$D^0_{1,t} = -6586175 + 34.5 F_t^2$$

$$(-0.854) (4.88) \quad F = 23.8151$$

$$\bar{R}^2 = 0.74; \quad d.f. = 7$$

由推估之損失函數可知，當洪水流量在 436.8 每秒立方公尺（CMS）以上時，才會造成堤防損失，換言之，每秒 436.8 CMS 以下之洪水流量不致造成堤防損失。此外，上述估計結果亦顯示，洪水之破壞力隨著洪峰流量之增加而迅速擴大。

上述損害函數為無計畫時之洪峰與量堤防修護經費之關係，吾人假定決策人

員欲減少洪水災害所造成之損失至某一程度，（如減少 80 % 或 90 % 之損失），則損害函數將向下移動 80 % 或 90 %，（如圖 4）

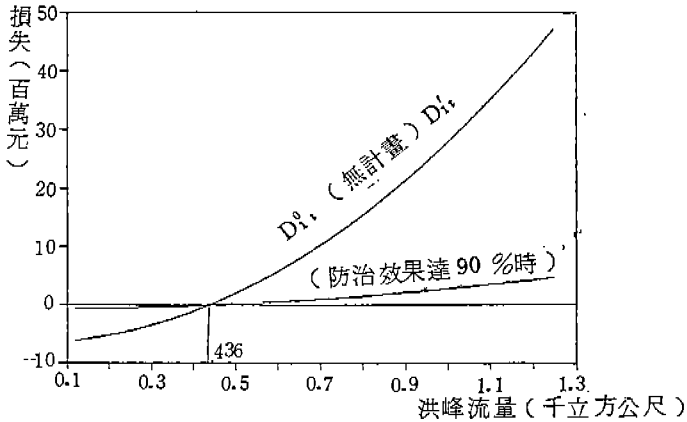


圖 4. 堤防損失函數

亦即，當堤防損失函減少為 90 % 及 80 % 時，則損害函數將分別為式(6)和式(7)所示：

$$D^0_{1,t} = - 658618 + 3.45 F_t^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$D^1_{1,t} = - 1317235 + 6.9 F_t^2 \dots\dots\dots(7)$$

將上述不同情況下之損失函數分別與洪水之機率函數 $P(F) = E X P (6.3112 - 1.383 \ln F)$ 相乘，並以最小的洪峰量 (F') 到最大洪峰量 (F'') 積分，即可求得各年度各種情況下損失之期望值。即

$$E [D^0_{1,t}] = \int_{F'}^{F''} P(F) \cdot D^0_{1,t} \cdot df = 4,924,165 \quad (\text{無計畫之損失})$$

$$E [D^1_{1,t}] = \int_{F'}^{F''} P(F) \cdot D^1_{1,t} \cdot df = 492,417 \quad (\text{減少 90 \% 損失})$$

$$E [D^1_{1,t}]' = \int_{F'}^{F''} P(F) \cdot (D^1_{1,t})' \cdot df = 984,834 \quad (\text{減少 80 \% 損失})$$

故堤防損失減少 90 % 之年效益的期望值為：

$$E [D^0_{1,t}] - E [D^1_{1,t}] = E (B_t) = 4,431,748$$

而堤防損失減少 80 % 之年效益的期望值則為：

$$E [D^0_{1,t}] - E [D^1_{1,t}]' = E (B_t)' = 3,939,331$$

上述 4,431,748 元或 3,939,331 元僅為決策者擬將損失減少 90 % 或 80 % 時之預期年效益數值。該項年效益尚須依照一定的折扣率及根據設施使用年限求算在該年限內所得產生的效益現值總和。

$$\text{即 } PVB = \sum_{i=0}^T E [B_{i,t}] / (1+r)^t$$

上式中 PVB : 效益期望值之現值

E [B_{i,t}] : 防災設施對策第 i 種保護標的物年效益期望值

r : 折現率

T : 防災設施之經濟有效年限

根據上述防災效果 90 % 之防災設施保護堤防之年效益而計算的總效益如下表所示 :

表 2. 防災效果達 90 % 時之防災設施效益期望值 單位：千元

折扣率	經 濟 年 限				
	10年	20年	30.	40.	50.
5. %	34,222	55,288	68,125	76,044	80,906
6. %	32,618	50,832	61,003	66,662	69,853
8. %	29,737	43,511	49,863	52,849	54,657
10. %	27,229	37,732	41,778	43,338	43,941
12 %	25,039	33,101	36,698	36,535	36,806

將上表中之資料標示於圖 5，顯示折扣率愈低計畫的價值愈高，而耐用年限愈長，計畫之效益也愈大，惟就效益曲線觀察，年限愈長，則效益曲線的斜率愈小。

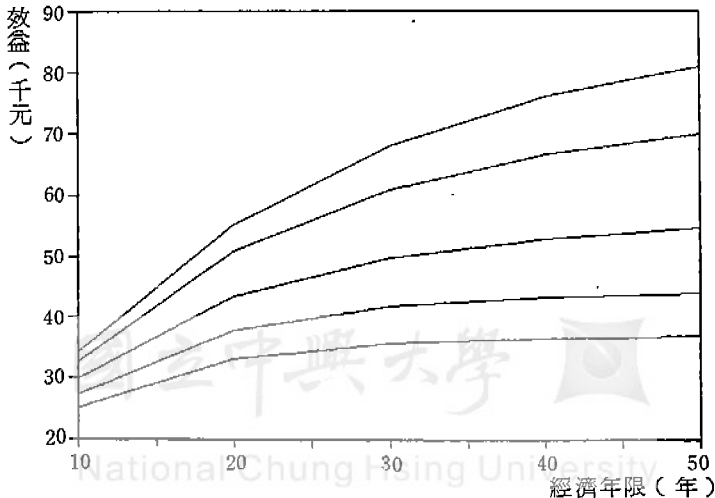


圖 5. 在不同折扣率下保護堤防之效益曲線

(2) 農地流失之損害函數

洪水破壞堤防以致洪水決堤時，洪水淹沒農地上之作物，甚至使農地流失或遭砂石埋沒，造成農民之損失。在民國68年至民國75年期間壽豐溪有5次洪水造成農地流失或埋沒之記錄（如下表）面積共310.61公頃。各年度受損之農地面積用當年花蓮縣平均每公頃產值換算求得洪水所造成的農業生產損失，再加上受損農地之復原費用每公頃兩萬元，即可求得農地流失之損失。

由表3.資料所求得之損害函數為

$$D^0_{z_t} = -827726 + 9.96 F^2_t \\ (-0.43) (4.89) \\ \bar{R}^2 = 0.85 ; \quad d.f. = 3$$

由該損失函數可知，若洪峰流量在288 C M S以下，將不致造成農地流失。若為預防洪水繼續氾濫造成農地流失而投資設置防洪設施，與前節所述堤防毀損之預防設施一樣，防災設施亦可使農地流失的損害函數向下移動。若決策者希望經防洪設施之投資後，每次洪水所流失的面積要減少90%或80%，依此要求設計防洪設施。

表3. 花蓮縣壽豐溪洪水氾濫之農地流失損失

年度	損失面積 (公頃)	平均產值 元/公頃	復原費用 元	損失金額 千元	洪峰流量 (每秒立方公尺)
68.	23.88	60,340	20,000	1,919	793
70.	117.49	77,110	20,000	11,409	1,160
71.	158.21	96,040	20,000	18,359	1,230
74.	9.42	110,040	20,000	1,225	276
75.	1.62	90,780	20,000	179	130

依上述無計畫洪水損失資料所建立之洪水流失農地之損害函數向下移動90%後之損害函數為 $D^1_{z_t} = -82773 + 0.996 F^2_t$ (圖6.)，而向下移動80%後之損害函數為 $D^1_{z_t} = -165546 + 1.992 F^2_t$

故據上述損害函數可求得不同情況下損失之期望值如下：

$$\text{無計畫時損失：} E [D^0_{z_t}] = \int_{F'}^{F''} P(F) \cdot D^0_{z_t} \cdot df = 1,866,231$$

$$\text{損失減少90\%時之期望值：} E [D^1_{z_t}] = \int_{F'}^{F''} D^1_{z_t} \cdot df = 186,623$$

損失減少80%時之期望損失： $E [D^1_{2,t}] = \int \frac{F''}{F'} P(F) \cdot (D^1_{2,t})' \cdot df = 373,256$

將上述不同情況下之年效益，依一定的折扣率及防洪設施之有效年限，可求得各種不同條件下之損失現值之和，再將無計畫情況下之損失現值，減不同條件之有計畫時之損失金額，即可求得不同條件下之投資效益。以上一小節同樣的方法求防災設施保護農田所能獲得的效益如表4所示：

表4. 防災效果達90%時，防災設施保護農地之效益 單元：千元

防災設施耐用年限					
折扣率	10年	20年	30年	40年	50年
5%	12,970	20,936	25,819	28,802	30,663
6%	12,362	19,265	23,119	25,271	26,403
8%	11,270	16,490	18,909	20,029	20,547
10%	10,319	14,300	15,834	16,425	16,653
12%	9,490	12,545	13,529	13,847	13,949

同一防災設施所能保護的各種標的（如堤防、農田…）上所能產生的效益相加，即可求得該項防災設施之效益。本文僅就保護堤防及堤防內之農地所能產生之效益加以估計。

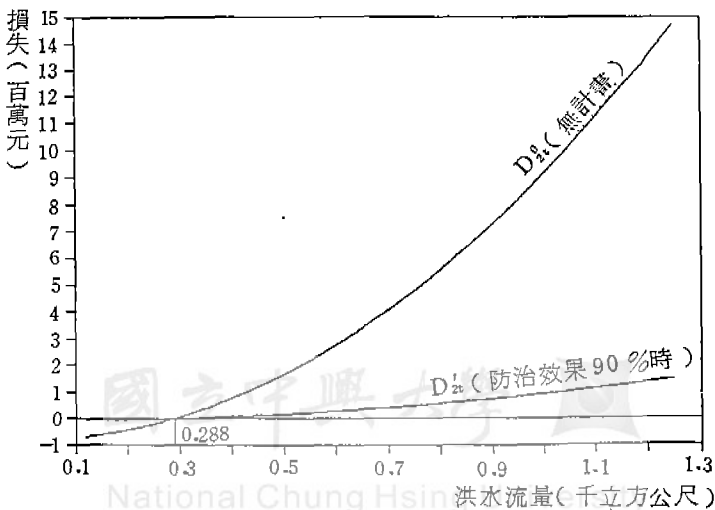


圖6. 農田損害函數

從表3及表4之效益顯示，防災設施之效益受設施耐用年限及折扣率之影響。耐用年限愈長，所能產生的效益愈高，如保護堤防的效益在5%之折扣率下，若耐用年限只有10年時，所能產生之效益為3,422萬元，當耐用年限達到為50年時，效益則增加至8,090萬元。至於設施之耐用年限究竟多長，則受下列因素之影響：(1)設施本身之自然因素，(2)人文因素。所謂自然因素指設施本身之物理耐用程度，而人文因素是指保養維護，及人類在河川上游之水土保持投資等因素。

至於折扣率對效益之影響，由表中之數值可知，在相同的耐用年限下，折扣率愈高，所獲得的效益愈低，表示相同的未來所得流量，面對不同的折扣率時，折扣率愈高，未來所得的價值愈低。至於折扣率應該是多少，在大部分的效益分析中均是引起爭論之問題，若折扣率偏低，可能使不值得投資之公共設施變成經濟可行的投資。相反的，若採用偏高的折扣率，使值得投資的設施變成沒有經濟價值而放棄。不論是何種情況，均導致資源的誤用而降低社會可能獲得的最大福利。

最後值得一提的是：如果將一項治山防洪計畫所能產生之各項經濟效益的期望值加總，則其適可反應出吾人可投資於該項計畫的總經費之現值。換言之，若以益本比為決策的準則，則當該投資計畫所需之總經費的現值不超過經濟效益之總現值時，吾人便可支持推動。

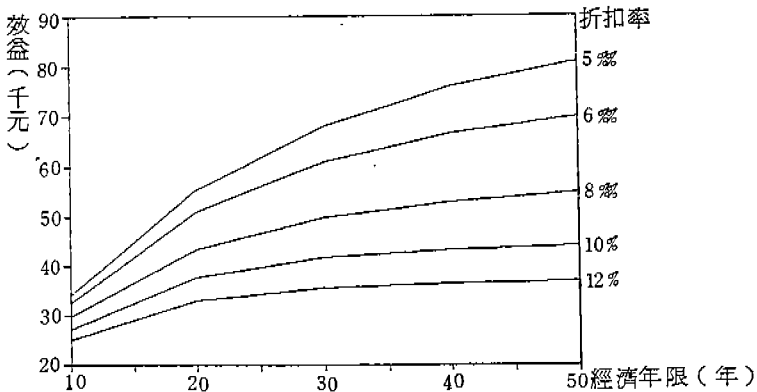
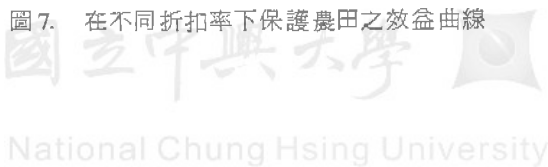


圖7. 在不同折扣率下保護農田之效益曲線



伍、摘要與結論

本研究利用損害函數及洪峰出現之機率求得單一年度洪水損失之期望值，此種方法可求得進行防洪投資時有計畫與無計畫間的損失差異，只要利用次級資料，根據曾經發生過的災害記錄資料，即可建立無計畫情況下之損害函數，並求得一定期間內可能之損失總值，該項損失總值即為該項防災設施就防災目的之最大可能效益（將災害完全消除之效益）。因此決策人員只要根據工程技術人員所設計防災設施功能可能消除預期災害之範圍，重新建立有防災設施下之損失函數，由該新的函數去求有計畫時預期的災害損失期望值，惟該項有計畫時預期損失之總值必定小於無計畫之損失總值。由損失總值之差異求得防災設施之防災效益。若規畫之資料中不能取得有計畫情況的資料而無法建立其損害函數，決策者亦可以將無計畫情況之損失減少某一比例，作為防災設施之效益，以該項效益為設施成本之上限，若工程設計人員無法設計此種規模之工程並達到所預期的防災效果，則防災設施之興建即為不是具有經濟效率的計畫。

本文之實證研究，根據花蓮縣壽豐溪之防災設施之規畫而需要進行防洪設施經濟效益分析，因缺乏興建防洪設施所能達到的防洪效果資料，乃以減少無計畫損失之某一比率作為效益。本文以減少災害損失90%為目標估算設置興建防洪設施之效益時，防洪設施所能減少的損失金額在假定設施有效期間為30年時，若折扣率為5%可獲得68,125千元之堤防損失減少之效益，而農田流失減少所獲得之效益為25,819千元，若折扣率為10%時，上述之效益分別下降為41,778千元及15,834千元。若設施之有效期間延長為50年，則上述5%折扣率下之效益分別為80,906千元及30,663千元，若折扣率為10%則上述之效益分別為43,941千元及16,653千元。將不同效益來源之效益相加即可求得防災設施所減少的災害損失。本文僅就防災設施對保護堤防及農田的效益加以估計，其他可能產生之效益則因資料限制而無法估計。

以損害函數估計防災設施所能產生之效益，只能就曾經發生實際損失之災害進行估計，因此，即使估計中包括所有可能減少損害部分之效益，其效益總值也低估防災設施之效益，因為受益者心理上所獲得的剩餘（消費者剩餘）不能經由損害函數求得。欲求得消費者剩餘尚須借助需求曲線之求得，而對公共財之需求曲線則因缺乏市場價格資料，如何讓受益者對公共財表示其願付價格則需要更多的調查訪問及統計分析技術方克為功。當決策者承受到壓力團體而必須減少或消除某一地區之某種災害時，他僅須知道該地區之災害損失數值資料，此時損害函數之分析則為一種有效的工具。

附 錄

資金社會成本 (Social opportunity cost of capital) 之求算茲舉一數值例說明：假定兩個投資部門及三個儲蓄所得階層，並假定資金市場為完全競爭市場之現行利率為 6. % (為儲蓄者所獲得之利率，企業於稅後所支付給儲蓄者之稅前所得)，並假定 2. % 之實質資產稅，50. % 之公司所得稅，20. % 之加值型營業稅，儲蓄者之所得稅率分別為 0. %，25. %，50. %。

在上述假定下，不論是公債或公司債之利率，非公司股權報酬在扣除營業稅及財產稅後之報酬率，公司股權再扣除公司所得稅後之報酬率均應該是 6. %，對公司而言股權資本之成本為 $17.5 = \rho e$ ，($0.5(0.8 \rho e - 0.02) = 0.06$)，非公司股權成本 $10. % = \rho n$ ($0.8 \rho n - 0.02 = 0.06$)，再假定公司資金來源為 $\frac{2}{3}$ 來自股本， $\frac{1}{3}$ 來自公司債，則公司資金之平均成本為 15. % ($\frac{2}{3} \cdot 0.175 + \frac{1}{3} \cdot 0.1 = 15. %$)，再假設已知道公司部門及非公司部門之投資量 I_j 及各不同儲蓄階層所提供的儲蓄量 (S_k) (如下表)

附表 計算資金機會成本所需資料

投 資 部 門	ρ_j	I_j	ϵ_j
公 司 部 門	0.15	40	- 2.0
非 公 司 部 門	0.10	20	- 1.0
合 計		60	
儲 蓄 階 層	r_k	S_k	e_k
0 稅 % 率	0.6	20	0.1
25. 稅 % 率	0.45	40	0.2
50. 稅 % 率	0.30	20	0.4
合 計		80	

根據上表資料可求得 $\bar{r} = 0.04$ $\epsilon_s = 0.225$ $\bar{\rho} = 0.14$ $\epsilon_j = - 1.67$ ，進而求得資金之社會的機會成本 (social opportunity cost of capital) 之值，即 $W = 0.1244$ 。

參考文獻

1. 吳功顯，鄭秋桂：「東部及蘭陽地區治山防洪整體治理計畫第一期執行成果研究評估」，農業經濟半年刊第 37 期，pp. 27-63，民國 74 年 6 月。
2. 徐享田：「八卦山台地治山防洪工程效益調查分析」，台灣經濟第 120 期，pp. 58-77，民國 75 年 12 月。
3. Adams, R.M. T.D. Crocker and N. Tchanavibulchai, "An Economic Assessment of Air Pollution Damages to Selected Annual Crops in Southern California," Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 9 pp. 42-58, 1982.
4. Freeman III, A.M. The Benefits of Environmental Improvement. Johns Hopkins University Press, 1979.
5. Hageman, Ronda K. "An Assessment of the Value of Natural Hazards Damage Reduction in Dwellings Due to Building Codes: Two Case Studies," Natural Resources Journal, pp. 531-547, July 1983.
6. Harberger, A.C. "The Discount Rate in Public Investment Evaluation," Conference Proceedings, Committee on the Economics of Water Resources Development of the Western Agricultural Economics Research Council, Denver, Colorado, December 17-18, 1968.
7. Hirshleifer, J. "On the Theory of the Optimal Investment Decision," Journal of Political Economy, Vol. 66, pp. 329-352, 1958.
8. Lichtenberg, E. and D. Zilberman, "The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters," Amer. J. Agri. Econ. pp. 261-273, Vol. 68, No. 2, May 1986.
9. Marglin, S.A. "The social rate of discount and the optimum rate of investment," Quarterly Journal of Economics, Vol. 77, pp. 95-111, 1963(a).

10. Marglin, S.A. "The opportunity costs of public investment," Quarterly Journal of Economics, Vol. 77, pp. 274-289, 1963(b).
11. Milliman, J.W. "Beneficiary Charges and Efficient Public Expenditure Decision," "In U.S. Congress Joint Economic Committee. The American and Evaluation of Public Expenditure, pp. 291-318, 1969.
12. Pesaran, M.H. "On the General Problem of Model Selection," Rev. Econ. Studies 41(2), pp. 153-171, 1974.
13. Randall, A. Resource Economics: An Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy, Grid Publishing, Inc., Ohio, 1981.
14. Ray, Anandarup, Cost-Benefit Analysis: Issues and Methodologies, The Johns Hopkins University Press, 1984.
15. Sen, A.K. "Isolation, Assurance and the Social Rate of Discount," Quarterly Journal of Economics, Vol. 81, No. 1, pp. 112-124, 1967.
16. Sugden, R. and Williams, A. The Principles of Practical Cost-Benefit Analysis, Oxford University Press, 1978.
17. Walker, D.J. "A Damage Function to Evaluate Erosion Control Economics," Amer. J. Agri. Econ., pp. 690-698, November 1982.

國立中興大學



National Chung Hsing University

An Economic Evaluation of Flood and Soil Erosion
Control Project
---An Application of Damage Function Approach
Shiang-tyan Shyu*
徐亭田
Summary

When the economic efficiency is one of the factors the decision maker should consider, he wants to know how much the benefit of the proposed project will be.

In the process of ex-ante evaluation of investment project to reduce the damage of natural hazard, the economic analyst face the problems of finding data from technical aspect about the improvement of natural environments. This circumstance make economic evaluation impossible, since the analyst has no ground to say what the improvements would be the results of the project.

The damage function approach use the records of damage caused by the past natural disasters to set up the damage function. Couple with the probability density function of the natural hazard the expected value of damage in a given year could be estimated. The sum of present value of those expected values during the life period of the investment would be the maximum amount of damage. The decision maker might expect the proposed project could reduce the damage to a certain extent (says 80% or 90%), and this would be the benefit of the project. If the cost of project which could reduce the damage to the extent the decision maker has set up would less than the benefit estimated the project would pass the economic efficiency criterion.

* Shiang-tyan Shyu, associate professor in the Department of Agricultural Economic, National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C.