

臺灣地區與能源使用相關的 二氧化碳減量成本估計： 多目標規劃分析法之應用

楊浩彥*

世新大學經濟學系

溫室氣體減量成本意指經濟體系納入溫室氣體限制所造成總資源成本的增加或無謂成本的損失，而此一成本的內涵不僅僅是包括生產過程中資源投入量改變所造成的成本增加，也涵蓋不同資源組成的產品消費改變所導致的剩餘改變。根據本文的估計，我國的二氧化碳減量成本明顯高於國外文獻的估計結果，表示二氧化碳減量會使臺灣經濟體系付出較高的成本代價，若從政策的角度來看，國際間差異性減量目標也適用於我國。惟二氧化碳排放主要係來自能源消費，且我國能源需求的所得彈性明顯高於發展階段相類似的其他國家，此一現象及其造成的原因仍需進一步加以評估。

關鍵詞：二氧化碳減量成本、多目標規劃法

一、前言

地球暖化的現象已經日益嚴重，也促使世界各主要國家以共同協議方式

* 作者任教於世新大學經濟學系。作者由衷感謝王塗發老師對本文研究方法的指正；同時，也要感謝本刊兩位匿名審查委員對本文初稿的建議。惟文中如有疏漏之處，仍應由作者自負全責。

來減少溫室氣體的排放，自第三屆氣候變化綱要公約締約國大會「京都會議」落幕後，各國為爭取合理的溫室氣體減量目標，廣泛的對溫室效應的歷史貢獻量進行探討。根據環保署（1997）估計，我國歷史貢獻量約佔全球之 0.15 至 0.2 之間，因此地球暖化承擔責任似乎應由已開發國家優先承擔。但是依照類似的環保公約「蒙特婁議定書」過去的經驗，國際社會對我國溫室氣體的減量規範亦可能比照工業化國家標準，況且目前與我國條件相仿的南韓已被視為「氣候變化綱要公約」附則一之國家。由於京都議定書已允許差異性減量目標，因此，我國在面臨未來可能被規範壓力，應積極分析各國的溫室氣體減量成本（mitigation costs for GHGs），並在同一減量成本基礎下，探討我國應承擔的溫室氣體減量目標，以便日後國際協商爭取合理平等的責任。本文的動機，即是針對此一課題進行分析。

基本上，欲減少溫室氣體的排放，可分別由經濟因素和非經濟因素來處理，而各個因素則可分別由投入面和產出面來加以探討。譬如說，從非經濟因素的投入面和產出面來看，前者如能源節約技術、提升能源使用效率，後者如污染防治技術、減少森林流失或增加造林等；而從經濟因素的投入面和產出面來看，前者如能源間之替代，後者如產業結構的調整，皆是可行策略。因此，在衡量溫室氣體的減量成本，可針對不同的因素來加以分析。按照 Nordhaus（1990）的回顧，溫室氣體減量評估方法大致可由特定技術的替換或設立經濟模式著手。特定技術的替代是由低污染生產技術替換高污染技術所需成本來估算，而設立經濟模式則由模式架構的建立來設算溫室氣體限量對模式造成的調整成本（見 Zhang and Folmer, 1998）。因此，在此定義下，減量成本意指經濟體系納入溫室氣體限制所造成總資源成本的增加或無謂成本的損失，而此一成本的內涵不僅僅是包括生產過程中資源投入量改變所造成的成本增加，也涵蓋不同資源組成的產品消費改變所導致的剩餘改變。理論上，此一經濟成本的估算與 Hicksian 的「均等變異（equivalent variation）」概念相似，意指在維持消費者福利不變下所須增加的所得；但實證上，學者（Burniaux et al., 1992; Jorgenson and Wilcoxon, 1990, Manne and Richels, 1991, Whalley and Wigle, 1990）多以經濟模型中國民生產毛額為衡量指標，以估算產量減少的程度（詳見張四立，1997）。

而在溫室氣體的構成方面，京都議定書已明確界定削減地球暖化的氣體包括：二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、氧化亞氮 (N_2O)、氫氟碳化合物 (HFCs)、全氟碳化合物 (PFCs)、六氟化硫 (SF_6) 等六項，其中又以二氧化碳佔溫室效應總量的比例最高。由於二氧化碳的排放主要來自化石能源的消費，因此，管制二氧化碳的過度排放將會對各國整體經濟與產業結構產生重大影響。回顧二氧化碳減量成本的相關文獻，根據張四立 (1997) 的整理，代表性的實證研究包括了 Manne and Richels (1990)、Nordhaus (1991)、Jogenson and Wilcoxon (1990)、Edmond et al. (1990)、Whalley and Wigle (1991)、Burniaux et al. (1992)。依張四立 (1997) 的彙整與計算，其中 Manne and Richels (1990) 利用非線型規劃模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.053；Nordhaus (1991) 利用數學規劃模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.028；Jogenson and Wilcoxon (1990) 利用總體經計量模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.030；Edmond et al. (1990) 利用會計模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.016；Whalley and Wigle (1991) 利用一般均衡模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.088；Burniaux et al. (1992) 利用一般均衡模型估算二氧化碳減量之所得彈性值約為 0.051。從這些文獻來看，二氧化碳減量的所得彈性介於 0.016~0.088% 之間，表示二氧化碳減量 1% 會使得國民生產毛額下降 0.016%~0.088% 之間。若根據張四立 (1997) 以臺灣資料估算的結果來看，我國二氧化碳減量的所得彈性值為 0.56，遠高於前述國外實證研究的估計結果，顯示二氧化碳減量會使臺灣經濟體系付出較高的成本代價。由於張四立 (1997) 的結果相較於國外實證文獻的估計結果差距頗大，本文擬重新加以驗證。基本上，本文採用的分析方法類似於張四立 (1997) 的方法，為一多目標多部門數學規劃模型，不同點是，本文放寬該文模型對最終需求主觀設定的假設。由於張四立 (1997) 將多部門模型納入整合規劃模型中，係採用傳統的簡單開放式投入產出架構進行分析，而在該架構下必須對最終需求的配置效果先予決定，再對部門產出的配置效果進行規劃，因此，估計結果容易受到規劃者對最終需求的設定。本文則放寬此一假設，採用 Bannink et al. (1983) 提出的擴大式 (extended) 投入產出架構之觀念進行分析，該分析方法允許部

份最終需求的配置效果與產業產出的配置效果同時在規劃過程中被決定，因此估計出來的二氧化碳減量成本將較不受限於規劃者的主觀設定。由於在衡量二氧化碳減量的所得彈性時，多目標規劃分析法在找尋經濟體系所能負載的最大和最小所得變動水準與二氧化碳排放量極為有效率，且敏感性分析的模擬可用來計算平均減量成本的變動範圍。因此整合擴大式投入產出架構和多目標規劃法，將可放寬規劃者對模型主觀設定的影響，同時使估計結果更為一般化，在計算二氧化碳減量成本時較具彈性和方便。

本文的目的，即是採用一個以臺灣資料為基礎的擴大式投入產出架構，利用妥協規劃分析法計算二氧化碳減量成本，同時比較國內外相關文獻的估計結果，並由差異性原因提出政策涵意。

二、估計方法

由於二氧化碳的污染排放主要來自於經濟體系的生產與消費活動，因此，估計二氧化碳減量成本時應涵蓋整體經濟層面。本文採用 Hafkamp and Nijkamp (1982) 的多維廓面 (multi-dimensional profiles) 來整合經濟和環境兩個層面，並以生產與消費體系予以連結。首先，在商品生產與消費上，是以極大化所得或產出為目標；其次，在商品之生產與消費所產生的環境衝擊，構成環境面。各個層面代表整合體系的一個子系統。而代表這些子系統的目標也就構成多維函數 (multi-dimensional function) 的基本要素。

根據前述說明，以下建立一個經濟和環境整合模型，並說明分析流程和估計步驟。首先，定義社會成員的組成集合 (\bar{I})：

$$\bar{I} = (1, 2, \dots, I) \quad (1)$$

社會成員對經濟和環境的目標分別反映在所得水準 (VA) 和二氧化碳污染排放量 (CO_2) 上。因此，社會狀態 (s) 可以表示為：

$$s = (VA, CO_2) \quad (2)$$

$$s \in S \quad (3)$$

式(3)中, S 為一緻密 (compact) 和凸型 (convex) 的可行集合 (feasible set)。第(2)和(3)式表示社會體系可達到的狀態。至於社會狀態 (s) 處於何種可能的狀態 (S) 下, 則應視社會狀態 (s) 內各個目標之間的相互權重而定。在 S 集合下, 決策者可以運用各種政策工具達成社會預擬之目標。

該體系下的社會成員, 皆面臨一組狀態的集合 (Z),

$$Z = \{z | z = (VA, CO_2) \in R^2\} \quad (4)$$

該狀態同樣分別反映在所得水準 (VA) 和二氧化碳污染排放量 (CO_2) 兩個目標上。因此, 假設個別的多維函數可以表示為:

$$\omega_i(z), i \in \bar{I} \quad (5)$$

從社會成員的觀點, 不同群體 (如環保聯盟、工會、產業公會等) 之間的目標及不同的目標之間, 在整合的過程中, 因無法同時獲得滿足, 故在決策上, 也就無法確認單一的全域性極值。是故, 從整體經濟的觀點, 決策的形成必須在各目標間尋求一妥協解。假若為了改變原有的社會狀態 (s), 在所有的目標皆無法同時改善的前提之下, 必須權衡各目標間優先改善的次序。因此定義選擇集合 (C) 為,

$$C = \left\{ c \in R^2 | c_j = (c_1, c_2), \sum_{j=1}^2 c_j \in [0, 1] \right\} \quad (6)$$

式(6)中, c_j 表示社會成員對不同目標的選擇。至於決策者在決策過程當中, 對於那一個目標應優先改善, 則需設訂決策法則。分析上, 可建立各種狀況進行狀況分析 (scenario analysis); 實務上, 則可由投票程序 (如多數決) 來決定。因此, 透過目標間優先改善次序的妥協過程, 我們即可推估所得水準與二氧化碳排放量的互動關係, 進而衡量二氧化碳的減量成本。在此必須強調的, 由於技術創新會改變所得水準與二氧化碳的關係, 本文假設技術未改變, 因此, 推估的二氧化碳減量成本是由現行的技術條件下所能衡量的最大成本。

為了量化上述的基本模型, 本文接著採用妥協規劃進行求解, 我們可以

重新定義模型如下：

$$\max s, \quad (7)$$

$$s.t. \quad s \in S \quad (8)$$

在式(7)和(8)中， S 是指在改變不同決策目標下，決策形成的條件，為決策空間； s 則在衡量決策的形成，為目標空間（見 Louck, 1975; Cohon, 1978; Zeleny, 1982; Lakshmanan and Nijkamp, 1983; Despontin et al. 1984; Hsu et al. 1987; Schachter et al. 1989; Zhu, 1992）。因此，完整的經濟—環境之多目標規劃問題可以表示為：

$$s = (\max VA, \min CO_2), \quad (9)$$

$$s.t. \quad s \in S \quad (10)$$

式(9)中， VA 為所得指標， CO_2 為二氧化碳污染指標。透過多目標規劃程序計算二氧化碳減量成本，步驟如下。

第一：最適化個別目標，建立經濟—環境二維的償付矩陣，以此計算二氧化碳平均減量成本。首先，將各個目標獨立處理，然後逐次最適化各個目標，亦即，

$$\max VA, s.t. \quad s \in S \quad (11)$$

$$\min CO_2, s.t. \quad s \in S \quad (12)$$

將上述步驟處理的結果列於償付矩陣中。該矩陣中對角線上之值代表二個目標的理想解；而矩陣中非對角線部份為非最適化結果，表示與最適目標的距離以及二個目標間的抵換關係。透過償付矩陣即可計算二氧化碳減量的所得變動情況，同時為了消除單位的影響，可將個別目標值換算以指數表示，即以模擬值除以基準值而得。經由此步驟，二氧化碳減量成本可以表示為：

$$MC_{VA-CO_2} = \frac{Index_{VA}^{max} - Index_{VA}^{min}}{Index_{CO_2}^{max} - Index_{CO_2}^{min}} \quad (13)$$

式中， MC_{VA-CO_2} 為二氧化碳減量成本， $Index_{VA}^{max}$ 為償付矩陣中附加價值

的極大值 (以指數表示), $Index_{VA}^{min}$ 為償付矩陣中附加價值的極小值 (以指數表示), $Index_{CO_2}^{max}$ 為償付矩陣中二氧化碳排放量的極大值 (以指數表示), $Index_{CO_2}^{min}$ 為償付矩陣中二氧化碳排放量的極小值 (以指數表示)。

第二：計算各種狀況 (scenarios) 下，二氧化碳減量成本的敏感度結果。首先，由償付矩陣建立二個目標的距離函數，並極小化距離函數以求得各目標間的妥協解。在這裡的距離函數為可行集合和最適解之間距離的總和。此步驟由於所得水準和二氧化碳污染指標之間的維度並不相同，因此需經過標準化過程，我們採用的是 Hafkamp and Nijkamp (1982)、Nijkamp (1983) 和 Nijkamp et al. (1990) 所提出的標準化距離公式。透過上述標準化距離公式，所得水準和二氧化碳污染指標的標準化距離的結果分別可以表示為：

$$W_{VA}^{max} = \frac{O_{VA}^{max} - O_{VA}}{O_{VA}^{max} - O_{VA}^{min}} \quad (14)$$

$$W_{CO_2}^{min} = \frac{O_{CO_2} - O_{CO_2}^{min}}{O_{CO_2}^{max} - O_{CO_2}^{min}} \quad (15)$$

式(14)~(15)中， O_k 為第 k 個目標的目標值 ($k \in \{VA, CO_2\}$)， O_k^{max} 與 O_k^{min} 分別為第 k 個目標的極大化值與極小化值。由上述標準化距離公式，我們採用歐几里德距離函數 (Euclidean distance function) 為衡量指標加總各個目標的距離，表示為：

$$d(s, (s^{max}, s^{min})) = \left\{ \sum_k \omega_k (W_k^i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$i \in \{max, min\},$$

$$k \in \{VA, CO_2\} \quad (16)$$

在(16)式中，當 k 目標為所得水準時 (即 $k = VA$)， i 為極大值 (即 $i = max$)，當 k 目標為二氧化碳污染 (即 $k = CO_2$) 時， i 為極小值 (即 $i = min$)。因此，各目標間的妥協解為極小化距離函數，表示為：

$$\min d(s, (s^{max}, s^{min})) \quad (17)$$

其次，選擇應優先改善的目標，併入多目標規劃過程（因為一開始各目標值的權重相同），此步驟在改變不同權重之敏感度分析。假設要調高所得目標值（狀況 A）；亦即決策者強調所得成長的目標，而以最小二氧化碳污染排放的條件來達成。限制集合的調整方法，表示為：

$$O_{VA(new)}^{min} = O_{VA}^{min} + \lambda_{VA}(O_{VA}^{com} - O_{VA}^{min}) \quad (18)$$

式(18)中， $O_{VA(new)}^{min}$ 為新的所得成長目標值的下限， O_{VA}^{com} 為附加價值的妥協解； λ_{VA} 為調整速度，界於 0 和 1 之間。同理，二氧化碳污染排放極小（狀況 B）的調整，也是由限制集合來調整，所不同的是調整上限值，即：

$$O_{CO_2(new)}^{max} = O_{CO_2}^{max} - \lambda_{CO_2}(O_{CO_2}^{max} - O_{CO_2}^{com}) \quad (19)$$

式(19)中， $O_{CO_2}^{min}$ 為新的二氧化碳污染排放量目標值的上限，為二氧化碳污染排放量的妥協解；同樣， λ_{CO_2} 為調整速度，界於 0 和 1 之間。本文分別納入調整所得成長和二氧化碳污染的限制集合二者於整合規劃模型中以進行狀況分析 (scenarios analysis)，反覆上述步驟即可分析各種狀況下二氧化碳減量成本的敏感度結果。本文模擬 $\lambda = 0.25$ 、 0.5 、 0.75 三種情況，因此共可得六種結果。

三、估計結果

為了估計臺灣地區與能源使用相關的二氧化碳減量成本，必須先設定決策空間（即 S ）與目標空間（即 s ）。本文建立的決策空間延伸自楊浩彥與王塗發（1995a & b），主要由六個部份組成，分別包括了物品平衡限制式、生產技術和投入需求、最終需求、附加價值和所得、能源需求和污染以及外匯平衡限制式等。

目標空間則分別由所得和二氧化碳污染排放構成。模型的特性包括了：(1)多部門產業結構：納入產業關聯效果；(2)考慮能源使用和環境污染；(3)資本限制：傳統投入產出架構並沒有考慮到資本的限制；惟在實際經濟體系，產業部門之產能或資源的不足將導致瓶頸，而使部門產出和消費受到限制；

(4)循環性：部份最終需求的內生化，使得古典一般均衡理論中，所得之產生 (income generation) 和所得之支用 (income spending) 可納入考慮；亦即消費部門受所得影響，所得產生自生產部門。而此種特性在傳統的簡單開放式投入產出架構並沒有納入考慮。因此，文獻上對於具備上述特性的分析架構，通常又稱之為擴大式 (extended) 的投入產出分析 (Bannink et al., 1983; Schumann, 1989)。茲將模型空間結構與採用的資料來源詳述於附錄。

根據附錄模型的設定與資料的處理，模擬結果是列於表一。根據表一，狀況 A 為調整所得水準的結果，狀況 B 為調整二氧化碳污染排放的結果。當 $\lambda = 0$ 為未調整的狀況，而 $\lambda = 0.25$ 、 0.5 、 0.75 為不同調整程度的敏感度分析結果。

首先由目標值的相對變動來看 ($\lambda = 0$)，當解值是由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值便由 6,448,821.830 百萬元降為 6,343,976.911 百萬元 (下降約 1.853 個百分點)，而二氧化碳污染排放量由 151,654.324 千公噸降為 137,697.590 千公噸 (下降約 9.203 個百分點)。由上述目標估計值的變化所呈現的數據顯示：所得目標和二氧化碳污染目標存在相互間的抵換關係。若將此關係換算為所得水準相對於二氧化碳污染排放量的變動比例來看，單位二氧化碳污染減量排放對所得水準造成的減少額度為 7,512 元；而若換算為相對於基準解的彈性值來看，二氧化碳減量的所得彈性值約為 0.201。此一估計結果相較於國外數種文獻的結果，如 Manne and Richels (1990) (彈性值約為 0.053)、Nordhaus (1991) (彈性值約為 0.028)、Jogenson and Wilcoxon (1990) (彈性值約為 0.030)、Edmond et al. (1990) (彈性值約為 0.016)、Whalley and Wigle (1991) (彈性值約為 0.088)、Burniaux et al. (1992) (彈性值約為 0.051) 有明顯的偏高現象，表示二氧化碳減量排放會使臺灣經濟體系付出較高的成本代價。因此，根據前述的推論，若要在同一減量成本的基礎上，探討我國應承擔二氧化碳減量目標，從本文的估計結果和國外文獻的比較來看，我國在二氧化碳污染減量排放上應有不同的承擔責任，這亦符合京都議定書允許的差異性減量目標。

上述估計的結果，若進一步探究其原因，可由二氧化碳污染排放的來源來加以分析。由於本文估算的是與能源使用相關的二氧化碳排放量，因此，

表 1：償付矩陣與減量成本估算

	狀況 A		狀況 B	
$\lambda=0$				
目標	所得極大	污染極小	所得極大	污染極小
所得(百萬元)	6,448,821.830	6,343,976.911	6,448,821.830	6,343,976.911
	1.630%#	-0.223%	1.630%	-0.223%
污染(千公噸)	151,654.324	137,697.590	151,654.324	137,697.590
	-0.000%	-9.203%	-0.000%	-9.203%
ϵ_{VA-CO_2}	0.201		0.201	
P_{VA-CO_2}	7,512(元)		7,512(元)	
$\lambda=0.25$				
目標	所得極大	污染極小	所得極大	污染極小
所得(百萬元)	6,448,821.830	6,343,976.911	6,429,912.630	6,343,976.911
	1.630%	-0.223%	1.332%	-0.223%
污染(千公噸)	151,654.324	137,697.590	148,756.220	137,697.590
	-0.000%	-9.203%	-1.911%	-9.203%
ϵ_{VA-CO_2}	0.201		0.213	
P_{VA-CO_2}	7,512(元)		7,771(元)	
$\lambda=0.5$				
目標	所得極大	污染極小	所得極大	污染極小
所得(百萬元)	6,448,821.830	6,341,838.511	6,408,909.333	6,343,976.911
	1.630%	-0.056%	1.001%	-0.223%
污染(千公噸)	151,654.324	138,713.677	145,926.350	137,697.590
	-0.000%	-8.533%	-3.777%	-9.203%
ϵ_{VA-CO_2}	0.198		0.225	
P_{VA-CO_2}	8,266(元)		7,891(元)	
$\lambda=0.75$				
目標	所得極大	污染極小	所得極大	污染極小
所得(百萬元)	6,448,821.830	6,350,277.911	6,389,111.731	6,343,976.911
	1.630%	0.077%	0.689%	-0.223%
污染(千公噸)	151,654.324	139,640.281	143,263.300	137,697.590
	-0.000%	-7.922%	-5.533%	-9.203%
ϵ_{VA-CO_2}	0.215		0.248	
P_{VA-CO_2}	8,202(元)		8,109(元)	

說明：1. #為模擬值與基準值差額相對於基準值的變動百分比。

2. ϵ_{VA-CO_2} 為二氧化碳減量的所得彈性。

3. P_{VA-CO_2} 為二氧化碳減量的所得成本。

此一結果的原因，可由能源消費結構來加以檢視。台灣地區能源的消費主要是以進口為主，若按能源種類區分，我國的能源消費結構主要包括了煤與煤製品、石油製品、液化天然氣、天然氣、電力等五項。根據統計，1990年我國國內能源消費量計 52,007.2 千公秉油當量，其中煤與煤製品約占 13.5%、石油製品約占 44.8%、液化天然氣約占 0.7%、天然氣約占 2.3%、電力約占 38.7%，至 1996 年，我國國內能源消費量計 73,439.3 千公秉油當量，其中煤與煤製品約占 13.5%、石油製品約占 42.8%、液化天然氣約占 1.6%、天然氣約占 2.3%、電力約占 39.8%，能源需求總量年成長率約為 5.9%。而在經濟成長方面，若以國民生產毛額來衡量，1990 年國民生產毛額為 4,581,783 百萬元（以 1991 年幣值計算），至 1996 年國民生產毛額為 6,569,783 百萬元（以 1991 年幣值計算），年平均成長率為 6.2%，平均而言，能源的產出彈性約為 0.95，趨近於 1。因此，高度依賴能源消費結構的臺灣經濟體系，使得估算的二氧化碳減量成本有較高的估計值。

此外，我們可另由能源消費與二氧化碳排放量的關係來強化此一推論。根據楊任徵（1997）的研究，台灣地區與能源使用相關的二氧化碳排放量，1990 年二氧化碳排放總量為 112,689 公噸，其中以液化燃料燃燒排放的二氧化碳所佔的比例最大，約佔排放總量的 58%，其次分別是固態燃料燃燒排放比例 38% 與及氣態燃料燃燒排放比例 4%。至 1996 年，與能源使用相關的二氧化碳排放量則高達 171,054 公噸，比 1990 年的排放量增加 51.8%，年平均成長率為 7.4%，高於同期能源需求與國內經濟平均成長率，顯示能源結構配比與二氧化碳排放的所得彈性明顯偏向含碳能源較高的消費。由此觀之，我國經濟結構不僅依賴能源投入，並明顯偏向高碳能源消費。

由於二氧化碳污染減量排放對我國所得水準減少的彈性值偏高，可能係因能源需求的所得彈性過高所致。因此，降低能源需求的所得彈性，在此一議題上，也就顯得急為迫切。根據 Hsu and Xu（1998）推估未來的能源需求的所得彈性，我國能源需求的所得彈性預測值近於一，1990-2006 年預測值為 0.94，高於發展階段相類似的其他國家。因此在未來的生產條件未能改變的情況下，由現行產業結構預測未來的能源需求的所得彈性偏高，為了達到二氧化碳減量目標，調整產業結構勢在必行。且在同樣的生產條件下，煤、油、

天燃氣的二氧化碳排放比例為 1、0.76、0.59，調整能源配比也需加以重視。

上述估計的敏感度結果，本文是在狀況 A 和狀況 B 兩種狀況下進行模擬，同時每種狀況模擬 $\lambda = 0.25$ 、0.5、0.75 三種情況（見表一）。在狀況 A 的情況下，當 $\lambda = 0.25$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值由 6,448,821.830 百萬元降為 6,343,976.911 百萬元（下降約 1.853 個百分點），而二氧化碳污染排放量由 151,654.324 千公噸降為 137,697.590 千公噸（下降約 9.203 個百分點）。當 $\lambda = 0.5$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值便由 6,448,821.830 百萬元下降為 6,341,838.511 百萬元（下降約 1.686 個百分點），而二氧化碳污染排放量則由 151,654.324 千公噸降為 138,713.677 千公噸（下降約 8.533 個百分點）。當 $\lambda = 0.75$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值由 6,448,821.830 百萬元降為 6,350,277.911 百萬元（下降約 1.707 個百分點），而二氧化碳污染排放量由 151,654.324 千公噸降為 139,640.281 千公噸（下降約 7.922 個百分點）。若將此敏感度結果換算為所得水準相對於二氧化碳排放量的變動比例來看，單位二氧化碳減量對所得減少額度介於 7,512-8,266 元之間；而若換算為相對於基準解的彈性值來看，二氧化碳的所得彈性介於 0.198~0.215。

其次，在狀況 B 的情況下，當 $\lambda = 0.25$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，其附加價值由 6,429,912.630 百萬元下降為 6,343,976.911 百萬元（下降約 1.555 個百分點），而二氧化碳污染排放量由 148,756.220 千公噸降為 137,697.590 千公噸（下降約 7.292 個百分點）。當 $\lambda = 0.5$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值由 6,408,909.333 百萬元降為 6,341,838.511 百萬元（下降約 1.224 個百分點），而二氧化碳污染排放量由 145,926.350 千公噸降為 138,713.677 千公噸（下降約 5.426 個百分點）。當 $\lambda = 0.75$ ，解值由極大化所得目標改變為極小化二氧化碳排放目標時，附加價值由 6,389,111.731 百萬元降為 6,350,277.911 百萬元（下降約 0.912 個百分點），而二氧化碳污染排放量由 143,263.300 千公噸降為 139,640.281 千公噸（下降約 3.670 個百分點）。若將此敏感度結果換算為所得水準相對於二氧化碳排放量的變動比例來看，單位二氧化碳減量對所得

減少額度介於 7,771-8,109 元之間；而若換算為相對於基準解的彈性值來看，二氧化碳的所得彈性介於 0.213-0.248。

綜合上述的估計結果，目標估計值的變化所呈現的數據顯示，所得目標和二氧化碳污染目標存在相互間的抵換關係。若將此關係換算為所得水準相對於二氧化碳排放量的變動比例來看，單位二氧化碳減量對所得減少額度介於 7512-8266 元之間；而若換算為相對於基準解的彈性值來看，二氧化碳的所得彈性介於 0.198-0.248，前述的推論依舊成立。此外，本文的估計結果比張四立（1997）估計值 0.56 低，係因本文放寬該文模型在最終需求的主觀設定所致。因此，除非先驗上已知未來的最終需求結構，否則主觀設定值將會影響到估計的結果。

四、結論

本文利用妥協規劃法和擴大式投入產出架構，估計臺灣地區與能源使用有關的二氧化碳減量成本。本文採用的方法有下列特點：(1)本文採用的規劃方法是整合了 Yu (1973) 的「妥協規劃法」與 Hafkamp (1984) 的「互動限制集合法」。採用妥協規劃法所規劃出的解必定是非劣等解，而利用妥協規劃法配合互動限制集合法，即可對非劣解的變動進行分析，且不會產生無解的現象。(2)常見的線性（多目標）規劃—投入產出模式（如張鴻章等，1981; Hsu, 1985; Hsu et al. 1987; Tzeng et al. 1989），都隱含了規劃者主觀的設定訊息，特別是在最終需求的決定（見 Hsu (1985)）的討論。本研究應用 Bannink et al. (1983) 提出的擴大式投入產出架構之觀念，可將部門產出與最終需求量同時在規劃過程中決定。

由本文對台灣地區現況資料所規劃的非劣解來看，所得目標和污染目標之間存在彼此間的抵換關係。若以本文 7 種狀況模擬所計算出的二氧化碳減量成本來看，單位二氧化碳污染減量排放對所得減少的額度介於 7,512-8,266 元之間；而若換算為相對於基準解的彈性值來看，二氧化碳的所得彈性介於 0.198-0.248。上述結果若比較 Manne and Richels (1990)（彈性值約為 0.053）、Nordhaus (1991)（彈性值約為 0.028）、Jogenson and Wilcoxon

(1990) (彈性值約為 0.030)、Edmond et al. (1990) (彈性值約為 0.016)、Whalley and Wigle (1991) (彈性值約為 0.088)、Burniaux et al. (1992) (彈性值約為 0.051) 的估計結果明顯偏高，表示二氧化碳減量會使臺灣經濟體系付出較高的成本代價，若從政策的角度來看，國際間差異性減量目標也適用於我國。惟二氧化碳排放主要係來自能源消費，且我國能源需求的所得彈性明顯高於發展階段相類似的其它國家，此一現象及其造成的原因仍需進一步加以評估。

本文的結果，基本上仍受限於本文的研究方法，這些限制包括了：(1) 本文僅考慮到短期效果，而未考慮到長期技術改變對生產結構的影響。同時，本文建立的空間與目標結構係以單一國家為基礎，而未考慮到國與國之間，對減量時程與減量目標的設計，所造成的互動影響。(2) 由於本文係以投入產出模型為基本架構，此一方法之假設，即構成本文研究方法的限制。其他如技術係數固定、資源投入係數固定等，也構成本文研究方法的限制。(3) 而在模型延伸方面，如何將模型保留原先已考慮到的最終需求決定方式，並納入量值混合單位 (hybrid-units) 的投入產出模型 (見張四立，1992)，以避免僅考慮到直接係數所估算的能源消費量，也仍待進一步研究。(4) 由於本文設立的模型所需的資料項目繁多，且為了配合模型對於資料的型態的需求，因此所收集的資料多需進一步處理。這些步驟包括了模型估計、參數調整和資料轉換等等。因此透過這些過程所取得的資料，其可信度也仍待進一步加以確認。雖然目前國內所能提供的相關資料已慢慢增加，但資料的一致性，仍需研究者自行加以調整，譬如說國民所得帳和投入產出表數值上的差異。諸如此一問題，仍有待進一步建立資料庫以增進可信度。(5) 本文將研究範圍侷限在 CO_2 污染排放物，係將重點放在未來國際社會將會對各個國家的 CO_2 污染排放物進行管制，因此有必要對 CO_2 污染物的影響效果進行評估。惟身為國際社會的一份子，對於可能影響環境變遷的因素仍需加以關注，因此若有足夠的資料，可將研究範圍擴大到其他空氣污染物、水污染、固定廢棄物、毒性物質等污染物，以衡量全面管制對台灣總體經濟的影響。

五、附錄：空間結構與資料來源

(一)、空間結構

(1)物品平衡限制式

物品平衡限制式的目的，主要在使每個產業（或每項物品）的總供給等於總需求，表示為：

$$X_i + M_i = Z_i + C_i + I_i + G_i + E_i \quad (20)$$

式(20)中，等號左式為總供給，包括國內生產（ X_i ）和進口（ M_i ）；等號右式為總需求，包括中間需求（ Z_i ）、民間消費（ C_i ）、投資（ I_i ）、政府消費（ G_i ）和出口（ E_i ）， i 表示產業的類別。本文主要將我國產業區分為農業、礦業、製造業、水電燃氣業、營造業、運輸倉儲業、商業和服務業等七個部門，另外將製造業部門按中分類分為二十分類，總共二十七個產業類別進行分析。

(2)生產技術和投入需求

中間需求或產業關聯的生產技術是固定係數的假設，表示為：

$$Z_i = \sum_j a_{i,j} X_j \quad (21)$$

式(21)中， a_{ij} 為 j 產業生產使用 i 產業產出作為投入佔 j 產業產出的比例，一般都將此係數稱之為「直接需求係數」或「技術係數」。式(21)表示投入與產出之技術關係為固定不變的（見Chenery and Clark, 1959; O'Connor and Henry, 1975; Miller and Blair, 1985）。

勞動投入的需求可以表示為：

$$L^d = \sum_l \sum_j l_{l,j} X_j \quad (22)$$

式(22)中， l_{lj} 為 j 產業生產使用 l 型職業別勞動的投入係數。表示產業勞動投入需求為產業產出的固定比例。而勞動投入需求受限於固定的勞動供給，以

(23)式表示：

$$L^s \leq \bar{L}^s \quad (23)$$

式(23)中， \bar{L}^s 為固定的勞動供給。至於勞動投入職業別 (l)，主要分為專門技術和非專門技術人員兩類。另將非專門技術人員區分為：行政主管、監督行政、買賣工作、服務工作、農林漁牧人員和生產作業員等六類。此外，假定專門技術人員的勞動投入受限於專門技術人員的固定供給，表示為：

$$L_{skill}^d = \sum_j l_{skill,j} X_j \quad (24)$$

$$L_{skill}^d \leq \bar{L}_{skill}^s \quad (25)$$

式(24)和(25)中， L_{skill}^d 為專門技術勞動的投入需求， $l_{skill,j}$ 為 j 產業生產使用專門技術勞動的投入係數， \bar{L}_{skill}^s 為專門技術勞動的固定供給。式(25)表示專技人員的勞動投入需求無法由非專技勞動來供給。此一方式類似 Blitzer et al. (1989) 的處理方法。

最後，設定資本的限制。資本的限制以(26)式表示 (Dervis et al., 1982)。

$$k_i X_i \leq K_i \quad (26)$$

式(26)中， K_i 為資本， k_i 為資本產出率。該式表示產值在規劃的重新分配下，受限制於資本。而在實際模擬操作，通常假設 $\frac{K_i}{k_i} = f \bar{X}_i$ (\bar{X}_i 為當年實際產值， f 為常數)。表示規劃的產值不能超過原實際產值的某一倍數。此外，部份的文獻 (如 Hafkamp (1984)) 亦曾對規劃的產值設定了下限值，而使規劃的產值限制在實際產值上下幅度的某一比例。

(3)最終需求

最終需求的部份，主要包括了民間消費、投資和政府消費三個項目。分別說明如下。

(3.1)消費函數

消費函數的設定，是採用線型支出體系 (Linear Expenditure System,

LES) 來描繪消費者行爲。線型支出體系是建立在 Stone-Geary 的效用函數下。該效用函數可以表示爲：

$$U(E_C) = \sum_k \beta_k \ln \left\{ \frac{C_k}{\bar{N}} - \gamma_k \right\} \quad (27)$$

式(27)之中， E_C 爲平均每人總消費支出， β_k 爲第 k 種商品扣除最低消費量 (subsistence minima) 所餘可支配用在第 k 種商品之比例， C_k 爲第 k 種商品的消費支出， \bar{N} 爲人口數， γ_k 爲第 k 種商品的最低消費量，而括號內爲第 k 種商品超越最低消費之多餘消費量。在預算限制下，極大化該效用函數，可得一般化的民間消費需求的線型支出體系，表示在(28)~(30)式 (同 Blitzer et al. (1989, 1990a & b, 1991)) 的處理方式。

$$P_k C_k = \bar{N} (P_k \gamma_k + \beta_k (E_C - E_\lambda)) \quad (28)$$

$$E_C = \frac{\sum_k P_k C_k}{\bar{N}} \quad (29)$$

$$E_\lambda = \sum_k P_k \gamma_k \quad (30)$$

式(28)~(30)中， P_k 爲商品別消費物價指數。 E_λ 爲最低消費支出。另外，各商品扣除最低消費量所餘用在各商品之比例加總爲 1。可以表示爲：

$$\sum_k \beta_k = 1 \quad (31)$$

式(31)爲恩格爾 (Engel) 加總條件，即 $\beta_k = \eta_k \alpha_k$ (η_k 爲第 k 種商品的所得彈性， α_k 爲第 k 種商品的恩格爾係數)。在式(28)~(31)的民間消費的商品類別 (k) 中，本文主要按照國民所得帳的分類，將商品類別區分爲：食品、飲料、煙草、衣著鞋襪及服飾用品、燃料和燈光、租金和水費、家庭器具和設備、家庭管理、醫療及保健、娛樂及文化服務、運輸交通及通訊、其它等十二類。由於上述的民間消費是建立在商品別的需求體系，因此，需要商品別和部門別的轉換矩陣，以連繫物品平衡式之部門別的民間消費。處理方式爲：

$$C_i = \sum_k T_{i,k}^C C_k \quad (32)$$

式(32)中， $T_{i,k}^C$ 為商品別和部門別的民間消費轉換矩陣。

(3.2) 投資函數

投資方面，包括固定資本形成和存貨變動兩項。表示為：

$$I_i = FINV_i + INV_i \quad (33)$$

式(33)中， I_i 為部門別投資， $FINV_i$ 為部門別固定資本形成， INV_i 為部門別存貨變動。

首先，在固定資本形成函數的設定，是採用類似 Coupé (1976) 的設定方式。假設廠商的固定資本形成依其動機可區分為誘發性投資和重置性投資。因此，固定資本形成函數可以表示為：

$$FI_s = FI_s^N + FI_s^R \quad (34)$$

式(34)中， FI_s 為固定資本形成， FI_s^N 為誘發性投資， FI_s^R 為重置性投資，下標(s) 為固定資本形成到達 (destination) 的產業別。假定誘發性投資是由於前期實際資本存量和當期意願資本存量存有差距產生，而兩者之間具部份調整的性質；重置性投資則假設與前期實際資本存量維持固定比例關係。因此，(34)式可改寫為：

$$FI_{t,s} = \lambda_s(K_{t,s}^* - K_{t-1,s}) + \delta_s K_{t-1,s} \quad (35)$$

式(35)中， λ_s 為當期意願資本存量和前期實際資本存量的調整參數， $K_{t,s}^*$ 為當期意願資本存量， $K_{t-1,s}$ 為前期實際資本存量， δ_s 為設備折舊率。經整理可以得到(36)式，

$$FI_{t,s} = \lambda_s(K_{t,s}^* - (1 - \delta_s)K_{t-1,s}) + (1 - \lambda_s)FI_{t-1,s} \quad (36)$$

另由簡單加速原理，假設意願投資為產出的固定比例，表示為：

$$K_{t,s}^* = \psi_s X_{t,s} \quad (37)$$

式(37)中， ψ_s 為最適資本產出率。因此，(36)和(37)式即為本文設定的固定資本形成函數。但是，上述設定的固定資本形成函數和(33)式中之最終需求的固定資

本形成並不相同。前者是指固定資本形成的到達面 (destination)，後者則是指產業提供用作固定資本形成的最終需求。因此，需要由固定資本轉換矩陣來連繫。處理的方法類似民間消費轉換矩陣。表示為：

$$FINV_i = \sum_s T'_{i,s} FI_s \quad (38)$$

式(38)中， $T'_{i,s}$ 為固定資本轉換矩陣。至於式(33)的存貨變動 (INV_i) 在此視為殘差項，以外生處理。

(3.3) 政府消費

政府消費是外生假定，表示為：

$$G_i = \eta_i \bar{G} \quad (39)$$

式(39)中， \bar{G} 為總政府消費， η_i 為政府消費對各部門需求的分配參數。

(4) 附加價值和所得

各產業的附加價值是以(40)式表示。

$$VA_j = X_j - \sum_i a_{i,j} X_j \quad (40)$$

式(40)中， VA_j 為第 j 個產業的附加價值。

由於模型中考慮了到所得的產生和分派，因此，必須對所得的來源和支出加以定義。首先，假設所得的來源可以區分為勞動報酬和非勞動報酬，分別以(41)和(42)式表示。

$$Y^l = \sum_i \sum_j \omega_{j,i} l_{i,j} X_j \quad (41)$$

$$Y^k = \sum_j r_j X_j \quad (42)$$

式(41)和(42)中， $\omega_{j,i}$ 為平均工資率， r_j 為非勞動所得佔各產業產出的比率。其次，將勞動報酬和非勞動報酬加總，扣除儲蓄率再除以總人口，即為平均每人總消費支出。表示為：

$$Ec = (1 - \theta)(Y^l + Y^k) / \bar{N} \quad (43)$$

式(43)中， θ 為儲蓄率。此種處理方法類似 Bannink et al. (1983)。

(5) 能源需求和污染

(5.1) 能源需求

能源需求的項目在模型中，包括了中間需求消費和最終需求消費兩個部份。分別表示為：

$$E_m^l = \sum_j e_{m,j}^i X_j \quad (44)$$

$$E_m^f = \sum_n e_{m,n}^f F_n \quad (45)$$

$$E_m^d = E_m^l + E_m^f \quad (46)$$

式(44)和(46)中， E_m^l 為產業部門能源投入需求， E_m^f 為最終需求部門能源消費需求， $e_{m,j}^i$ 為產業部門 (j) 對各種能源種類 (m) 的投入係數， F_n 為最終需求部門 (n) 對各種能源種類 (m) 的需求係數， $e_{m,n}^f$ 為最終需求部門 (n) 的總需求， E_m^d 為總能源需求 (同 Blitzer et al. (1989, 1990a & b, 1991) 的處理方式。下標 (n) 為最終需求部門別，主要為民間消費。下標 (m) 為能源別。而能源需求受限於固定的能源供給，表示為：

$$\sum_m E_m^d \leq \bar{E}^s \quad (47)$$

式(47)中， \bar{E}^s 為總固定能源供給。

一般而言，能源類別可區分為：(1)初級能源——係指原始型態的能源(如煤炭、原油、天然氣、水力等)。(2)次級能源——經由初級能源轉換而來(如煤製品、石油製品、火力發電等)。而本文模型中的能源種類，主要包括煤、原油、天然氣和電力四類；其中煤、原油、天然氣為初級能源，電力則包括初級能源(如水力)和次級能源(如燃油、燃煤、燃氣等)。惟一般產業部門和最終需求部門對初級能源的需求並無法直接消費，而必須加工轉換。因此本文對能源別的需求，係依能源平衡表的區分方法，分為煤炭、焦炭和煤氣、

液化石油氣、汽油、柴油、燃料油、其它油品、天然氣和電力等主要的九項能源別，在部門之間的投入和消費來加以分析。此外，假設電力需求受限於固定的電力供給。表示為：

$$E_{elec}^I = \sum_j e_{elec,j}^i X_j \quad (48)$$

$$E_{elec}^F = \sum_n e_{elec,n}^f F_n \quad (49)$$

$$E_{elec}^d = E_{elec}^I + E_{elec}^F \quad (50)$$

$$E_{elec}^d \leq \bar{E}_{elec}^s \quad (51)$$

式(48)~(51)中， E_{elec}^I 為產業部門電力投入需求， E_{elec}^F 為最終需求部門電力消費需求， $e_{elec,j}^i$ 為產業部門 (j) 的電力投入係數， $e_{elec,n}^f$ 為最終需求部門 (n) 的電力需求係數， \bar{E}_{elec}^s 為固定的電力供給。

(5.2) 污染排放

污染排在模型中僅考慮了 CO_2 空氣污染排放總量，而未考慮到其它污染，主要因為本文將重點放在 CO_2 空氣污染排放上。一般而言，污染性物質可區分為：氣態（如燃燒污染排放、廢氣、惡臭等），液態（如廢水、熱污染等），固態（如垃圾）和放射性污染物（如核能）。而這些污染物分別對環境（如空氣、水、土壤）有不同程度的影響。過去文獻（如 Blitzer et al. (1990a & b, 1991), Ghosh (1990)）著重在空氣污染排放上的研究，係因空氣污染排放對氣候改變和地球生態影響甚劇（如 CO_2 、 NO_2 造成溫室效應， SO_2 、 NO_x 造成酸雨， CFC 造成臭氧層破壞等）；另一方面，此種傳統性產業公害問題，也造成國內環境危機（如生活品質降低等）。本文的分析僅考慮了 CO_2 的空氣污染排放。基於前述說明，污染物排放量可以表示為：

$$D_p^{pull} = \sum_m \tau_{p,m} (\sum_j e_{m,j}^i X_j + \sum_n e_{m,n}^f F_n) \quad (52)$$

式(52)中， $\tau_{p,m}$ 為各種能源 (m) 燃燒排放污染物 (p) 的污染排放係數。其次，空氣污染物可依其性質區分為兩類：(1)一次污染物 (primary pollutant) ——即由污染源直接排入大氣之中的污染物，如懸浮微粒、一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物、二氧化碳、碳氫化合物等；(2)二次污染物 (secondary

pollutant) ——係一次污染物之物理和化學性質發生改變而成，如硝酸霧、硫酸霧等。一般而言，空氣污染主要由一次污染物所造成，而以懸浮微粒、一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物、二氧化碳的影響最為廣泛。行政院環境保護署自民國七十五年以來，亦嘗試估計和建立台灣地區上項污染物質的污染總量程度。由前述的說明可知，本文考慮的空氣污染物別 (p)，僅包括 CO_2 污染排放物。只考慮此一污染物的原因，係因目前全球氣候變化綱要公約將要管制 CO_2 污染排放量，因此有必要對 CO_2 限量的影響進行評估。是故，(52) 的下標 p 指的是 CO_2 污染物。

在此考慮污染總量的原因，是因為在探討環境保護，污染物質之排放總量在區域內有一定的自然淨化力，謂之環境涵容量。假若污染超過環境涵容量，必造成環境保護上的困難，因此，先進各國在環境保護方面，都已對污染排放總量加以限制。而台灣未來如欲在環境保護方面達成預定成效，則亦有必要對污染排放總量加以管制。因此，污染排放的限制式，可以表示為：

$$D_p^{full} \leq \bar{D}_p; \quad (53)$$

式(53)中， \bar{D}_p 為污染排放限制總量。

(6) 外匯平衡限制式

外匯平衡限制式的目的，主要在限制進口的的外匯支出小於或等於出口與資本淨流入的外匯收入，以式(54)表示：

$$\sum_i P_i^m M_i \leq \sum_i P_i^e E_i + \bar{N}F \quad (54)$$

式(54)中， P_i^m 為進口品世界價格指數， P_i^e 為出口品世界價格指數， $\bar{N}F$ 為國外資本淨流入 (net foreign capital inflow)。該限制式在模型的意義，表示在實證模擬的規劃，進出口模擬值發生改變，仍限制維持在外匯支出小於或等於出口與資本淨流入的外匯收入 (同 Blitzer et al. (1989)) 的處理方式。至於進口的處理是採用 Dervis et al. (1982) 的處理方式，即假設進口包括非競爭性進口和競爭性進口。非競爭性進口是與產出和固定資本形成維持固定

係數關係，剩餘部份即為競爭性進口 (Dervis et al. (1982))，但這一類的進口僅包括在貿易部門，至於非貿易部門 (如水電燃氣業、營造業、運輸倉儲業、商業和服務業等) 的進口理應不存在，但是實際資料並不為 0，這些數字主要係因對貿易部門提供服務而來。因此假定這些產業的進口和貿易部門的進口維持固定的比例 (張鴻章等人, 1981)。

(7) 目標空間——多目標函數

首先，設定經濟的目標函數。表示為：

$$\max GDP = \sum_i VA_i; \quad (55)$$

式(55)中， GDP 為國內生產毛額，為產業附加價值的總和。

其次，設定環境的目標函數。建立環境指標的方法通常可由：(1)濃度指標——常以空氣污染指標 (Pollutant Standard Index; PSI) 來衡量。計算該指標必須瞭解個別污染源與測站的距離和地形以及風向和溫度等氣候條件，並以此建立個別污染源污染排放量 (總量) 與測站測值 (濃度) 之間的污染擴散函數 (pollution dispersion function)，來估算污染源排放的空氣污染濃度。Coupé (1976) 即依此利用高斯分配 (gaussian distribution) 建立擴散函數計算空氣污染濃度。惟此法所需資料較多，且較為不易計算。(2)總量指標——即污染源排放量不經由擴散函數即予加總。惟需將各個空氣污染物予以加權等值 (Air Pollution Equivalence, APE)，而其權數則在反應各個污染物的不利效果 (adverse effect) 的程度。Hordijk et al. (1983)、Hafkamp (1984) 等人即依此建立空氣污染總量指標值 (APE)，分析環境品質的影響效果。由於模型中考慮的空氣污染物僅包括二氧化碳 (CO_2) 污染物，因此係依後者來設定環境目標函數，同時環境目標僅含一種污染物，因此並不涉及不同污染物之間的權數加總問題。據此，設定的環境目標函數可以表示為：

$$\min CO_2 = D_p^{pull} \quad (56)$$

(二)、資料來源

爲了使模型可操作性，以量化二氧化碳減量成本。我們採用的是民國八十三年臺灣地區的資料進行模擬分析。爲了配合前節設定的規劃模型，收集到的相關資料，除部份的資料可以直接引用之外，其他部份的資料有必要進一步調整以配合模型的需要。以下將針對這些資料的出處和處理方法分別加以說明。

(1) 產業關聯表與國民所得帳

投入產出或產業關聯交易表是根據主計處出版之中華民國臺灣地區八十三年產業關聯表（150 部門）。採用如此細分的產業關聯表是爲了便於對產業分類和合併的工作。由先前的說明可知，本文的產業類別計二十七類。此一分類係配合其它相關資料（如國民所得帳、能源平衡表、勞動投入表等）的產業分類對照而得。

除了前述資料來源的差異有不同的產業分類可由合併解決外，另一方面，資料本身數值的不一致亦有必要加以處理（例如國民所得帳和產業關聯表的數值並不相同）。本文對資料不一致的處理方式，係以產業關聯表的資料爲基準，相關資料按比例調整而得。譬如以民間消費支出爲例來說，國民所得帳的商品別民間消費支出總額並不等於產業關聯表的部門別民間消費支出總額。調整步驟是假定產業關聯表的部門別民間消費支出總額不變，而商品別民間消費則以產業關聯表的民間消費支出總額，按國民所得帳的商品別民間消費支出比例分攤而得。處理方式如下：

$$C_k = \left(\frac{C_k^u}{\sum_k C_k^u} \right) \sum_i C_i \quad (57)$$

式(57)中， C_k 爲調整後的商品別民間消費支出， C_k^u 爲未調整（指原始國民所得帳的資料）的商品別民間消費， C_i 爲部門別民間消費支出。同理，其它資料（如固定資本轉換矩陣）與產業關聯表有不一致的地方，採用相同的處理方式。

(2)轉換矩陣 (bridge matrix)

轉換矩陣是兩種不同分類型態的資料相互轉換的橋樑。譬如說，如何將商品別民間消費轉換為部門別民間消費，或由部門別民間消費轉換為商品別民間消費。首先，假設兩種不同分類向量，表示為 $C_{m \times 1}$ 和 $R_{n \times 1}$ ，其中 c 為 m 種類別的資料結構， R 為 n 種類別的資料結構。若 $C_{m \times 1}$ 和 $R_{n \times 1}$ 之間的轉換矩陣為 $B_{n \times m}$ ，則 $C_{m \times 1}$ 、 $R_{n \times 1}$ 和 $B_{n \times m}$ 之間的關係可以分別表示為：

$$\begin{aligned}
 B &= [b_{ij}], \\
 R &= [r_j], \\
 C &= [c_i], \\
 r_i &= \sum_j b_{ij}, \\
 c_j &= \sum_i b_{ij}, \\
 i &= 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{58}$$

式(58)中， b_{ij} 為 i 型分類對應 j 型分類的數量或金額， r_i 為 i 型分類的數量或金額， c_j 為 j 型分類的數量或金額。簡言之， R 為 b 的列 (row) 和， C 為 B 的行 (coloum) 和，而 $\sum_i r_i = \sum_j c_j$ ，因此兩種分類型態的資料可以被完全轉換。

至於 C 和 R 兩種型態的資料如何轉換，則視何者為已知而定。如果 R 為已知，欲知 C 資料結構，可由轉換係數矩陣 (D^R) 求得。表示為：

$$d_{ij}^R = \frac{b_{ij}}{r_i} \tag{59}$$

$$D^R = [d_{ij}^R] \tag{60}$$

$$c_i = \sum_j d_{ij}^R r_j \tag{61}$$

式(59)~(61)中， D^R 為轉換結構矩陣 (B) 內的各元素除以列和表示的轉換係數矩陣。因此，當 R 為已知，可透過轉換係數矩陣得到相對應的 C 向量元素。同理，如果 C 為已知，欲知 R 資料結構，亦可由轉換係數矩陣 (D^C) 求得。

不同之處是 D^c 為轉換結構矩陣 (B) 內的各元素除以行和表示的轉換係數矩陣。處理如下。

$$d_{ij}^c = \frac{b_{ij}}{c_i} \quad (62)$$

$$D^c = [d_{ij}^c] \quad (63)$$

$$r_i = \sum_j d_{ij}^c c_j \quad (64)$$

由上述說明可知，透過轉換結構矩陣，建立轉換係數矩陣即可使兩種不同分類型態資料之間進行轉換。本文所需的轉換矩陣，主要包括商品別和部門別民間消費轉換矩陣，以及到達別和部門別的固定資本形成轉換矩陣。分別說明如下。

(2.1) 消費轉換矩陣

國民所得帳的民間消費年資料係以商品類別區分為十二類，而對於產業關聯表的部門別民間消費，本文則區分為二十七類。因此需要有一連結商品別和部門別之 12×27 的民間消費轉換係數矩陣 ($T_{i,k}^c; i=1, 2, \dots, 27; k=1, 2, \dots, 12$)。

本文對於民間消費轉換結構矩陣的處理，是根據主計處編製的「七十三年臺灣地區產業關聯表家計部門與國民所得統計消費支出項目之對照表」整理成 12×27 的轉換結構矩陣。首先，由於該表是以購買者價格為基準編製，因此有必要調整成生產者價格表。處理方式是將運輸費用和商業差距按等比例由各部門分攤加總至運輸部門和商業部門。其次，根據雙比例調整法 (RAS) 以八十三年為基準年調整。處理方式是以八十三年產業關聯表部門別的民間消費量和調整後的十二類商品別民間消費支出為邊界條件調整而成。方法如下：

$$TT_{i,k}^{c(83)} = R^c [TT_{i,k}^{c(73)}] S^c \quad (65)$$

式(65)中， $TT_{i,k}^{c(73)}$ 和 $TT_{i,k}^{c(83)}$ 分別為七十三年和八十三年間的民間消費轉換結構矩陣， R^c 和 S^c 分別表示行和與列和之比例調整值的累計乘積向量（處理方式見 Miller and Blair (1985)）。由於本文估算的是商品別民間消費體系，因

此民間消費轉換係數矩陣 ($TT_{i,k}^{C(83)}$) 是以各種商品消費總額除以民間消費轉換結構矩陣 ($TT_{i,k}^{C(83)}$) 內的各元素而得。

(2.2) 固定資本轉換矩陣

國民所得帳的固定資本形成年資料係以到達別區分為八類，而產業關聯表的部門別固定資本形成最終需求則區分為二十七類。因此需要有一連結到達別和部門別之 8×27 的固定資本轉換係數矩陣 ($T_{i,s}^I; i=1, 2, \dots, 27; s=1, 2, \dots, 8$)。

在固定資本轉換矩陣的處理方面，是根據主計處「七十五年台灣地區產業部門固定資本形成關聯表」，整理成 8×27 轉換結構矩陣。由於該固定資本形成關聯表部門別的固定資本形成和本文的分類並不相同，處理的方法是依七十五年的投入產出表 (123 部門) 先行歸併與本文相同的分類，再依此結構等比例分攤同樣我們採用的處理方法，以雙比例調整法 (RAS) 將該矩陣調整成八十三年資料。由於本文估算的是到達別的固定資本形成，因此固定資本形成轉換係數矩陣 ($T_{i,s}^{I(83)}$) 是以到達別固定資本形成總額除以固定資本形成轉換結構矩陣 ($T_{i,s}^I$) 內的各元素而得。

(3) 最終需求方程式

在最終需求方程式部分，估計了民間消費支出體系和固定資本形成函數兩項。

茲分別說明如下。

(3.1) 消費支出體系

消費支出體系的未知參數分成兩階段取得。首先是採用統計方法取得參數，其次利用參數調整法消去殘差項。由於民間消費僅有以商品別分類的年資料，而無部門別分類的年資料，因此消費支出體系僅能建立在商品別的分類上。本文建立的民間消費的線型支出體系表示在(28)~(30)式。為了估計民間消費的線型支出體系的未知參數，首先將(28)~(30)式合併得到式(66)，

$$\frac{P_k C_k}{N} = P_k \gamma_k + \beta_k \left(\frac{\sum_k P_k C_k}{N} - \sum_k P_k \gamma_k \right) \quad (66)$$

並將確定型函數改為隨機型函數，表示為：

$$\frac{P_k C_k}{\bar{N}} = P_k \gamma_k + \beta_k \left(\frac{\sum_k P_k C_k}{\bar{N}} - \sum_k P_k \gamma_k \right) + \varepsilon_k \quad (67)$$

式(67)中， ε_k 為殘差項。理論上，各商品扣除最低消費量所餘用在各商品的比例加總為 1，即 $\sum_k \beta_k = 1$ ，因此假設第十二種商品中的其它項的邊際預算份額 (β_{12}) 為 $1 - \sum_{k=1}^{11} \beta_k$ 。估計(67)式所需的資料是取自「中華民國國民所得 (中華民國八十五年)」的年資料。在估計時，由於商品別的誤差項間與解釋變數之間，可能存在相關而造成估計值的偏誤和無效性，因此，本文採用充份訊息最大概似法 (Full Information Maximum Likelihood, FIML) 聯立估計消費需求體系。估計後，取得這些參數帶回原來估計式(67)。可得估計後的消費支出體系，表示在(68)式。

$$\frac{P_k C_k}{\bar{N}} = P_k \hat{\gamma}_k + \hat{\beta}_k \left(\frac{\sum_k P_k C_k}{\bar{N}} - \sum_k P_k \hat{\gamma}_k \right) + \varepsilon_k \quad (68)$$

接著，原先隨機式(68)轉為確定式(66)必須進行參數調整，處理的方式是將基準期的隨機項予以常數化調整 (見 Hafkamp (1984))。首先確定 $\hat{\beta}_k$ ，但對 $\hat{\gamma}_k$ 重新進行參數調整。將(66)式改寫為(69)式。

$$\frac{P_k C_k}{\bar{N}} - \hat{\beta}_k \left(\frac{\sum_k P_k C_k}{\bar{N}} \right) = P_k \gamma_k - \hat{\beta}_k \sum_k P_k \gamma_k \quad (69)$$

在(69)式， $\hat{\beta}_k$ 為已知，但 γ_k 為待調整的參數估計值。由於每一條方程式含有十二個未知數 ($\gamma_k, k=1, 2, \dots, 12$)，而同時存在十二條方程式，因此可得到新的參數值 ($\check{\gamma}_k$)。使原先 $\hat{\beta}_k$ 估計值和 $\check{\gamma}_k$ 參數調整值，滿足基準期 (八十三年) 的民間消費支出體系，產生與基準期一致性的結果。表示為：

$$\frac{P_k C_k}{\bar{N}} = P_k \check{\gamma}_k + \hat{\beta}_k \left(\frac{\sum_k P_k C_k}{\bar{N}} - \sum_k P_k \check{\gamma}_k \right) \quad (70)$$

(3.2) 固定資本形成函數

固定資本形成僅有以到達別分類的年資料，而無部門別分類的年資料。因此固定資本形成函數僅能建立在到達別的分類上。固定資本形成函數的未知參數亦由統計方法和參數調整法取得。首先，將(36)式和(37)式合併，得下式：

$$FI_{t,s} = \lambda(\psi_s X_{t,s} - (1 - \delta_s)\psi_s X_{t-1,s}) + (1 - \lambda_s)FI_{t-1,s} \quad (71)$$

經整理可以得到：

$$FI_{t,s} = \lambda_s \psi_s X_{t,s} - \lambda_s (1 - \delta_s) \psi_s X_{t-1,s} + (1 - \lambda_s)FI_{t-1,s} \quad (72)$$

最後，將此一確定式改為隨機式，表示為：

$$FI_{t,s} = a_1 + a_2 X_{t,s} + a_3 X_{t-1,s} + a_4 FI_{t-1,s} + \varepsilon_{t,s} \quad (73)$$

式(73)中， a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 分別為待估計的參數，而其與 λ_s 、 ψ_s 、 δ_s 的關係可以表示為：

$$\lambda_s = (1 - a_4) \quad (74)$$

$$\psi_s = \frac{a_2}{1 - a_4} \quad (75)$$

$$\delta_s = \frac{a_2 + a_3}{a_2} \quad (76)$$

因此估計後的參數適足以認定 λ_s 、 ψ_s 、 δ_s 值。

估計所需的資料是取自「中華民國國民所得（中華民國八十五年）」的年資料。理論上，部門別價格平減指數應採用雙面平減表的部門別價格指數，但現有雙面平減表僅有自七十年以後的資料。因此，本文是以躉售物價替代。式(73)的估計，由於解釋變數有被解釋變數的落遲項， ε_s 可能使估計模型無法滿足統計上的充份理想條件（full ideal condition）。所謂的充份理想條件是指 ε_s 在自我相關、異質性和常態性檢定皆能合乎統計上的要求。因此，如果模型估計後的檢定值不佳，則需加以適當修正估計後的參數。首先，使用最小平方方法（Ordinary Least Square, OLS）估計第(73)式。根據本文的估計結

這種高度複雜且專業化工作，很難真正做到有效的監督與績效考評。而且，愈是精密複雜的契約內容，其訂定與執行的成本愈高。因此一個社會的交易秩序若全賴法律途徑來維繫，則交易活動勢必受到嚴重的侷限。專業涉及抽象知識應用，並需專業人員高度自主性，契約或法律之規範難以概括全局。

Durkheim ([1893]1984, p.162) 指出：「契約本身並不具有執行上的充分性，此種充分性唯有由植基於社會的種種規則來供給。……這是因為，契約的功能本就不在於創造新的規則，它只是在將既有的（植基於社會的）規則加以轉化演繹，以使既有的規則能應用在特定的事件上」。另一方面，由於未來事態發展的「不確定性」、市場的「資訊不完整」、以及人類本身的「受限理性」（bounded rationality）等因素影響，「事前」（ex ante）訂立的契約內容是否能夠涵蓋所有「事後」（ex post）的事態發展更是不無疑問（Simon, 1991）。所以 Durkheim 認為契約的執行還需有非契約精神來支持；Granovetter (1985) 強調交易雙方須有某種程度「鑲嵌」（embeddedness）的信任；Shapiro (1987) 則強調社會運作中非個人關係之種種體制因素的重要性。換言之，隱含於整個社會網絡中不成文的社會規範，對維護交易秩序實具有不可忽略的影響力（葉匡時等，1993）。而這些不成文的社會規範（對專業工作而言，也就是所謂「行規」），而不是成文的法律，才是構成專業倫理的主體。

我們相信醫師具有一定的知識，具有一定的專業倫理，所以，當我們生病時，才敢到醫院去給不認識的醫師看病，不會害怕醫師會使用不正當的醫療程序。另一方面，兩家建築師事務所如果對於專業倫理有共同的認知，假若彼此發生業務上的衝突，這種衝突也很容易排解。在這兩個例子中（病人與醫師，或兩家建築師事務所），交易兩造之交易或衝突解決，需在一定的信任下進行，而這種信任的產生並不是因為彼此熟識互信而來，而是透過對專業以及專業團體的「非個人」信任而來（Shapiro, 1987）。理論上，這些衝突可以透過法律之訂定與執行而解決，但在實際上，法律不可能規範到所有的倫理行為，而法律之維繫，仍然有待法律之外的精神維持（如誠信原則），這種精神就是倫理精神。

但是，專業倫理除了前段所說的維持交易穩定、糾紛排解的功能之外，

排放係數是固定比例的。我們採用的係數是取自氣候變遷跨國小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)。由於氣候變化綱要公約要求各國抑制溫室氣體的排放，因此首要工作是在建立各國的排放資料，以供日後國際談判的依據。氣候變遷跨國小組發展的估計方法目前已初步完成，將可能成為國際間採用之標準方法，因此本文採用此法 (見 (黃肇英、楊任徵、朱育華, 1993))。

(5) 勞動投入表和要素所得

(5.1) 勞動投入表

勞動投入表是由勞動職業別和行業別組成的 7×27 矩陣。由於該矩陣僅有以受雇員工 (不包括雇主、自營者等) 區分的資料，而缺乏按就業人口區分的行職業矩陣，本文以「中華民國統計年鑑」登錄的行職業別就業人口為邊界條件，另以行職業別受雇員工投入矩陣為結構，進行雙比例調整 (RAS) 而得。也就是以受雇員工之行職業矩陣的結構等比例分攤就業之行職業人口。

(5.2) 要素所得

廣義的所得是指各產業的附加價值。因此勞動所得和非勞動所得可由產業的附加價值來加以區分。附加價值在投入產出表被視為原始投入，包括勞動報酬、經營盈餘、資本折舊和間接稅；其中經營盈餘包括利息、租金、移轉支出、基金及利潤。本文則按生產要素報酬計算要素所得，包括勞動報酬和經營盈餘兩項。

參考資料

張鴻章、李高朝、許嘉棟、李繼祥

1981 能源供給和價格變動對台灣經濟的影響，台北：經濟部能源委員會。

張四立

1992 我國石油工業整體供需規劃模型之建立和應用，台北：國立中興大學公共政策研究所。

1997 抑制 CO_2 排放之政策規劃與減量效果評估——臺灣實證分析，因應溫室效應之經濟工具及其經濟影響研討會，第 169-206 頁。

黃肇英、楊任徵、朱育華

1993 臺灣地區與能源消費相關的二氧化碳估計，能源季刊，23(2)，第 69-28 頁。

中華經濟研究院

1994 我國進入關稅及貿易總協定之總體經濟評估，經濟建設委員會，台北。

環境保護署

1997 聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國大會會議報告及我國因應對策分析。

楊任徵

1997 臺灣地區二氧化碳排放趨勢與抑制潛力探討，能源季刊，27(4)，第 2-18 頁。

楊浩彥、王塗發

1995a 整合環境—經濟多目標規劃模型之研究——臺灣實證分析，中央研究院人文及社會科學集刊，7(1): 27-63。

1995b 臺灣經濟—環境—能源多目標規劃模型之研究，中央研究院人文及社會科學集刊，7(2): 223-275。

Bannink, R., C. Broekhof, and P. Nijkamp

1983 "A Programming Approach as a Design for Economic Development Policy," in Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp (eds.), *Systems and Models for Energy and Environmental Analysis*, London: Gower.

Bergman, L.

1990 "Energy and Environmental Constrains on Growth: A CGE Modeling Approach," *Journal of Policy Modeling* 12: 671-691.

Blitzer, C. R., R. S. Eckaus, and S. Lahiri

1989 "An Economy-Wide Energy Model for Egypt," *MIT Working Paper* (No. 530), Cambridge, MA: The MIT Press.

Blitzer, C. R., R. S. Eckaus, S. Lahiri, and A. Meeraus

1990a "A General Equilibrium Analysis of the Effects of Carbon Emission Restrictions on Economic Growth in a Development Country," *MIT Working Paper* (No. 558), Cambridge, MA: The MIT Press.

1990b "The Potential for Reducing Carbon Emissions from Increased Efficiency: A General Equilibrium," *MIT Working Paper* (No. 559), Cambridge, MA: The MIT Press.

1991 "Growth and Welfare Losses from Carbon Emissions Restrictions: A General Equilibrium for Egypt," *MIT Working Paper* (No. 600), Cambridge, MA: The

- MIT Press.
- Burniaux, J.M., J.P. Martin, G. Nicoletti, and J.O. Martins
1992 "GREEN: A Multi-sector, Multi-Region Dynamic General Equilibrium Model for Quantifying The Costs of Cubing Emissions: A Technical Manual," *Economics Department Working Papers*, No. 116, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Cohon, J. L.
1978 *Multi-objective Programming and Planning*, London: Academic Press.
- Chenery, H. and P. G. Clark
1959 *Inter-industry Economics*, New York: John Wiley & Sons.
- Coupe, B. E. M. G.
1976 *Regional Economic Structure and Environmental Pollution*, Hague: Martinus Nijhoof.
- Cumberland, J.H.
1966 "A Regional Inter-industry Model for Analysis of Development Objectives," *Papers and Proceeding*, Regional Science Association, 17, pp..65-94.
- Despontin, M., P. Nijkamp, and J. Spronk
1984 "Conflict Analysis in Macroeconomic Planning Models," in Despontin, M., P. Nijkamp, and J. Spronk (eds.), *Macro-Economic Planning with Conflicting Goals*, Berlin: Springer.
- Dervis, K., J. De Melo, and S. Robinson
1982 *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Edmonds, Jae, and D. W. Barns
1990 "Factors Affecting the Long-Term Cost of Global Fossil Fuel CO₂ Emissions Reductions," Washington: Pacific Northwest Laboratory.
- Ghosh, P.
1990 "Simulating "Greenhouse Gases" Emissions due to Energy Use by a Computable General Equilibrium Model of a National Economy," Ph.D. dissertation, Pittsburgh: University of Carnegie Mellon.
- Hafkamp, W. A. and P. Nijkamp
1982 "An Integrated Interregional Model for Pollution Control," in Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp (eds.), *Economic Environmental Interactions Modelling and Policy Analysis*, Boston: Martinus Nijhoff.
- Hafkamp, W. A.
1984 *Economic-Environmental Modelling in a National-Regional System*, Amsterdam: North-Holland.
- Hordijk, L., H. M. A. Jansen, A. A. Olsthoorn, J. B. Opschoor, H. F. M. Reijnder, J. H. A. Stapel, and J. B. Vos
1983 "Economic Structure and the Environment: Production, Pollution and Energy Consumption in the Netherlands,1973/1985," in Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp (eds.), *Systems and Models for Energy and Environmental Analysis*,

- London: Gower.
- Hsu, G. J. Y.
1985 *An Integrated Energy Planning Model for Taiwan: Multi-objective Programming and Input-output Approach*. Taipei: Chung-Hua Institution for Economic Research.
- Hsu, G. J. Y., P. Leung, and C. T. K. Ching
1987 "A Multi-objective Programming and Inter-industry Model for Energy-Economic Planning in Taiwan," *Energy System and Policy* 11: 185-204.
- Hsu, G. J. Y., and H. M. Xu
1998 "The Impact of Mitigating CO₂ Emission on the Taiwan Economy: A Fuzzy Multi-objective Programming Approach," *Conference of East Asian Environmental and Resource Economics and Policy*, Taipei.
- Jorgenson, D. W. and P. J. Wilcoxon
1990 "Intertemporal General Equilibrium Modeling of US Environmental Regulation," *Journal of Policy Modeling* 12: 715-744.
- Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp (eds.)
1983 *Systems and Methods for Energy and Environmental Analysis*, London: Gower.
- Loucks, D. P.
1975 "Planning for Multiple Goals," in Blitzer, C. R., P. Clark, and L. Taylor (eds.), *Economy-Wide Models and Development Planning*, London: Oxford University Press.
- Manne, A.S. and R.G. Richels
1990 "Emission Limits: An Economic Cost Analysis for the USA," *The Energy Journal*, 11(2), pp.51-74.
- Miller, R. E. and P. D. Blair
1985 *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, New Jersey: Prentice-Hall.
- Nijkamp, P.
1977 *Theory and Application of Environmental Economics*, Amsterdam: North-Holland.
1983 "Multidimensional Analysis of Economic-Environmental-Energy Problem: A Survey," in Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp (eds.), *Systems and Models for Energy and Environmental Analysis*, London: Gower.
1986 "Equity and Efficiency in Environmental Policy Analysis: Separability versus Inseparability," in Schnaiberg, A., N. Watts, and K. Zimmermann (eds.), *Distributional Conflicts in Environmental-Resource Policy*, London: Gower.
- Nijkamp, P., P. Rietveld, and H. Voogd
1990 *Multi-criteria Evaluation in Physical Planning*, Amsterdam: North-Holland.
- Nordhaus W.D.
1991 "The Cost of Slowing Climate Change: A Survey," *The Energy Journal*, 12(1), pp.37-65.

- O'Connor, R., and E. W. Henry
1975 *Input-Output Analysis and Its Application*. London: Charles Griffin.
- Schachter, G., A. La Bella, M. Gastaldi, R. Danielis, and D. Campisi
1989 "Conflicting Goals in the Italian Multi-regional Economy: A Multi-objective Compromise Analysis," Paper presented at *Ninth International Conference on Input-Output Techniques*, Keszthely.
- Schumann, J.
1989 "On Some Basic Issues of Input-output Economics: Technical Structure, Price, Imputations, Applied General Equilibrium," Paper presented at *Ninth International Conference on Input-Output Techniques*, Keszthely.
- Tzeng, Gwo-Hsiung, Chien-Yuan Lin, Junn-Yuan Teng, and Sheng-Hsiung Tsaur
1989 "Multi-objective Optimal Strategies for Energy System and Ecological Environment in Taiwan," *Energy Quarterly* XIX: 106-124.
- Wallis, K. F.
1967 "Lagged Dependent Variables and Serially Correlated Errors: A Reappraisal of Three-Pass Least Squares," *The Review of Economics and Statistics* 49: 555-567.
- Whalley, J. and R. Wigle
1991 "The International Incidence of Carbon Taxes," in Dornbusch, R. and J.M. Poterba (eds.), *Global Warming, Economic Policy Response*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- World Commission of Environment and Development (WCED)
1987 *Our Common Future (The 'Brundtland Report')*. New York: Oxford University Press.
- Yu, P. L.
1973 "A Class of Solution of Group Decision Problems," *Management Science* 14: 319-376.
- Zeleny, M.
1982 *Multiple Criteria Decision Making*, Amsterdam: North-Holland.
- Zhang, Z. X. and H. folmer
1998 "Economic Modelling Approaches to Cost Estimates for the Control of Carbon Dioxide Emissions," *Energy Economics*, 20, pp.101-120.
- Zhu, M.
1992 "A Multiple Objective Approach to Evaluate Economic and Environmental Impacts of Agricultural Management System from a Sustainable Development Perspective," Ph.D. dissertation, Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.

On the Estimation of Mitigation Costs for CO_2 Emissions due to Energy Use in the Taiwan Economy: A Multi-objective Programming Approach

Hao-yen Yang

Department of Economics, Shih-Hsin University

ABSTRACT

Mitigation costs for CO_2 emissions represent the gross resource cost or dead-weight loss to the economy of imposing CO_2 constraints. In the estimates that follow, a mathematical programming model is constructed and applied to analyze the interactions of economic-environmental policy issues in Taiwan. The multi-objective programming approach and interactive simulation technique approach are applied to estimate the mitigation costs for CO_2 emissions due to energy use in the Taiwan economy. Empirical results based on 1994 data are discussed and some comments on the limitations of the analysis as well as suggestions for further work are included.

Key Words: mitigation costs for CO_2 emissions, multi-objective programming analysis