

# 政策工具與經濟對節能減排的影響

單珮玲\*

## 要 目

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 壹、前言           | 肆、資料來源與實證結果 |
| 貳、文獻回顧         | 伍、結論與建議     |
| 參、實證模型設定及其預期結果 |             |

## 提 要

世界各國為達成國家經濟發展之目的，往往消耗大量能源，尤其是化石燃料，因而導致能源短缺、溫室氣體（greenhouse gas, GHG）排放、全球暖化及氣候變遷等潛在危機。臺灣為達成 GHG 減量目標，甫於 2015 年通過「溫室氣體減量及管理法」。是以評估各項政策變數與經濟成長等，對節能減排的影響，已成為當前施政重點之一，惟擬定適當且有效的政策工具，亦為國內各界所關注的焦點。

本研究實證分析結果顯示，現行的環境稅確實具有節能效果，但長期而言，尚不足以達成 GHG 減排效果；國際能源價格震盪幅度極高，但對能源需求並無減量影響；國內能源消費量 CO<sub>2</sub> 排放密集度對於 GHG 排放具正向顯著影響。據此，建議立法部門宜儘速通過「能源稅條例」，以提高節能減排誘因；政策單位宜降低對於國內能源價格之政策干預，使其符合市場機制，以及宜建立完整碳排放交易制度，俾利於落實溫室氣體減量及管理法的規範，以達成減排目的；未來生產者宜投入發展能源技術的人力與資本，俾進一步達成節能之目的。

---

\* 本文作者為淡江大學會計系助理教授。

## 壹、前言

近年來，由於能源短缺、溫室氣體排放、全球暖化及氣候變遷等潛在危機，不僅威脅全球的自然生態與環境，同時亦對經濟成長造成嚴重衝擊。為達成全球溫室氣體減量目的，聯合國大會在 1990 年決議制定聯合國氣候變化綱要公約（Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC），1997 年再通過京都議定書（Kyoto Protocol），期藉由國際公約規範減少人類活動所排放的溫室氣體，至 2014 年底在秘魯利馬舉行氣候公約第 20 次締約國大會（COP20）中，歐盟希望 2015 年通過對所有國家都具法律拘束力的氣候協議，並在 2020 年實行；此外，將於 2015 年底在巴黎召開第 21 次締約國大會，其所研擬新氣候協議「巴黎議定書」，預期可能接替「京都議定書」。是以，規範溫室氣體減量目標，已是許多國家在施政上至為重要的課題之一，臺灣亦然<sup>1</sup>。然而，為實現經濟發展目的，亦需兼顧節能減排機制的選擇與政策工具制訂。是以，如何採行適當政策工具以有效解決經濟、環境與能源相互之間的脫鉤現象，亦顯重要（OECD, 2002）。

本文綜觀歷有文獻中，採聯立方程式模型，利用兩階段最小平方法（Two stage least square, 2SLS）以探討經濟成長與環境品質關聯性之文獻（Hung and Shaw, 2004；吳珮瑛等，2006），並未一併考慮影響能源消費量之模型。據此，本研究乃根據歷有文獻的見解及基礎經濟理論，建立聯立方程式模型，包括實質 GDP 生產函數、能源需求函數，以及 GHG 排放函數，採兩階段最小平方法（Two stage least square, 2SLS）進行實證研究，藉以推估各項政策變數（包括環境稅、國際油價變動率、貿易政策、能源技術、產業結構等）與經濟成長等，對節能減排的影響。最後，則根據實證結果分析其政策意涵並提出相關建議。

---

<sup>1</sup> 為推動國內溫室氣體減量目的，立法院業於 2015 年 6 月 15 日三讀通過「溫室氣體減量及管理法」，作為規範政府間跨部會推動溫室氣體減量機制、減量執行模式及執行工具等之法源依據。上開法源中，亦把溫室氣體減量目標具體規範，即我國 2050 年的溫室氣體排放量要降為 2005 年的 50% 以下；2005 年臺灣二氧化碳排放量為 2.45 億公噸，前年則升高到 2.5 億公噸，而 35 年後必須降為 1.225 億公噸，相當於回到 1991 年水準。

## 貳、文獻回顧

### 一、各國環境政策概況

#### (一) OECD 國家

根據 OECD StatExtracts (2012) 之環境資料庫，統計目前 OECD 會員國課徵之環境稅主要稅目約有 375 種，其中能源產品（約 150 種稅目）及機動車輛（約 125 種稅目）占大多數。另據估計 OECD 國家課徵與環境相關稅收，來自能源產品及機動車輛約占總稅收之 90%；歐盟國家對於能源產品及機動車輛均課徵環境稅；1/3 以上國家課徵與溫室氣體排放有關之環境稅。在能源稅制度方面，由於能源產品（如煤、天然氣、汽油或能源）對於氣候變遷排放之污染程度不同，若干歐盟國家為使能源產品間之替代效果顯著，分別按每一種化石燃料之碳含量制定稅率，以促使能源使用者（企業及家計單位）以較低碳密集之能源，替代高碳排放係數之化石燃料。

圖 1 顯示 OECD 主要國家歷年來（1994 年至 2012 年）之總環境稅收占 GDP 平均比例，平均約為 2% 至 5% 之間，但各國之間仍有極大的差異性，丹麥（約 4.7%）所占比例最高；另已有 2 個國家（芬蘭、荷蘭等）所占比例逾 3%；其他國家約介於 2% 至 3% 之間。再者，依 2012 年資料顯示，丹麥環境稅收占 GDP 比例為 3.94%，乃是實施「綠稅」水準最高的國家，次為荷蘭（3.57%）；至於，瑞典（2.52%）、英國（2.42%）及德國（2.19%）乃是環境稅收占 GDP 比重較低之國家。

觀察 OECD 選樣國家的環境稅收長期發展趨勢，可以發現，僅有芬蘭略高於歷年的平均比例，其餘國家大抵呈現下降趨勢。導致此一趨勢可能因素之一，在於政策革新結果，例如歐盟實施排放交易體系（European Emissions Trading Scheme, EU ETS），係以分階段方式逐漸落實減排目標<sup>2</sup>；另外，為促進節能減碳而提高稅費同時，對於採行措施達成節能減碳效能者，亦給予稅費減免誘因，如英國針對屬於氣候變遷捐與氣候變遷協議的企業或公部門，由政府提供補助或獎勵節能或投資低碳技術之研發，以鼓勵能源密集產業提升能源效率，並達成減

<sup>2</sup> 第 1 階段時程為 2005 年至 2007 年；第 2 階段為 2008 年至 2012 年；第 3 階段的時程為 2013 年至 2020 年。。

量效果。

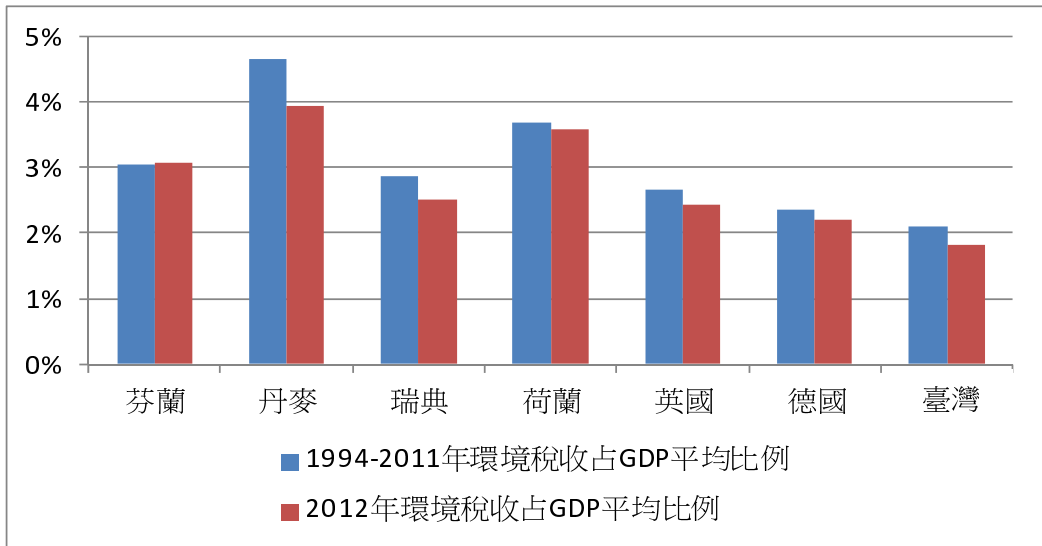
## (二) 臺灣

由於世界各國對於環境稅費尚無一致性定義，臺灣對此亦無明確定義，而是散見於不同法源中，若依不同稅基分類，包括能源稅（費）、污染稅（費）及車輛稅（費）等項目，此與 OECD 國家課徵與環境相關稅收之主要稅基相似。

與能源類相關稅（費）稅目共分為三：一係能源類關稅，課稅稅基為礦物燃料、礦油及油氣類等能源產品；二係能源類貨物稅，課稅稅基為油氣類能源產品；三係能源類營業稅，課稅稅基為石油、油氣類產品及其他能源產品（如能源）。以上稅目皆屬產品稅之課稅性質，具一般租稅之稅收性質及不指定收入用途。再者，污染稅（費）稅目共分為二：一係空氣污染防制費，課稅稅基為污染物排放量；二係土壤及地下水污染整治費，課稅稅基為石油系有機物等化學物質。此等稅目皆屬排放費之課稅性質，具規費收入之性質及指定收入用途。至於，車輛稅（費）稅目共分 5 種，其中針對機動車輛為稅基者，包括車輛類關稅、車輛類營業稅、車輛類貨物稅及汽車燃料使用費等 4 項稅目，前 3 項係屬產品稅之課稅性質，具一般租稅之稅收性質及不指定收入用途，至於汽車燃料使用費為產品費之課稅性質，具規費收入之性質及指定收入用途；至於，使用牌照稅係針對運輸工具為稅基之產品稅，具一般租稅之稅收性質及不指定收入用途。

由圖 1 顯示，自 1994 年至 2011 年臺灣課徵與環境相關稅費<sup>3</sup>占 GDP 平均比重約為 2.11%，此與 1994 年至 2011 年 OECD 選樣國家實施之綠稅平均水準比較，低於最高國家（丹麥為 4.65%）之半數以下。據此可知，臺灣環境稅費收入占 GDP 比例實屬偏低，推論其重要原因之一，在於臺灣為達到污染防制、節約能源或強化節能技術創新等目的，歷年來已在「促進產業升級條例」、所得稅法及海關進口稅則等相關法令中，制定多項誘因式的租稅減免規定，可解釋為環境稅費收入占 GDP 比例偏低之原因之一。

<sup>3</sup> 本文計算臺灣課徵與環境相關稅費之稅（費）基，係參考 OECD、IEA 及歐洲委員會共同定義環境稅稅基之性質，僅計入油氣類貨物稅、車輛貨物稅、汽車燃料使用費、空氣污染防治費、土壤及地下水污染整治費，以及使用牌照稅等，但未包括能源類關稅與營業稅，以及車輛類關稅與營業稅在內。



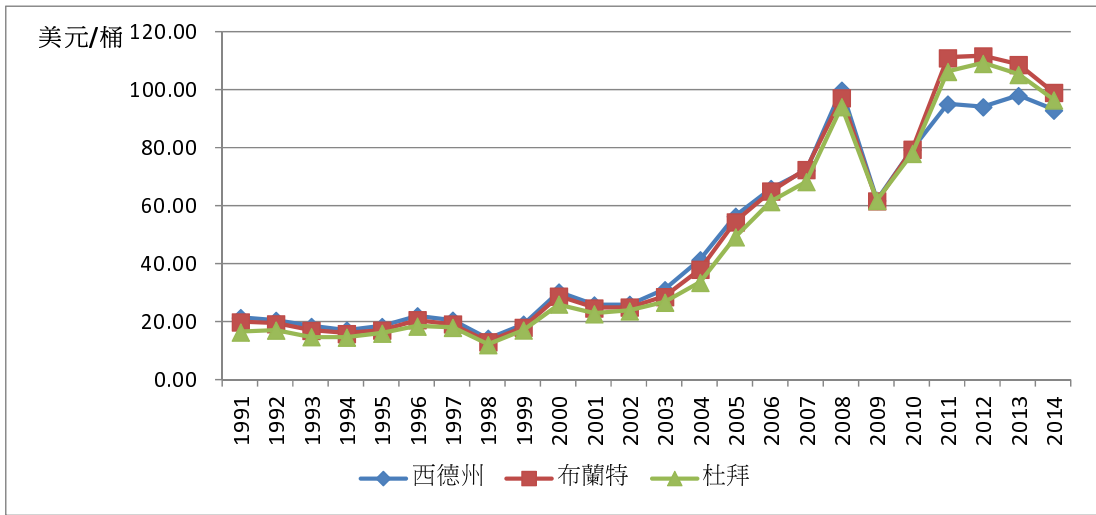
資料來源：1.OECD StatExtracts (2014)。  
2.本文整理。

圖 1 歐盟國家與臺灣環境稅收占 GDP 比例

## 二、國內外能源價格比較

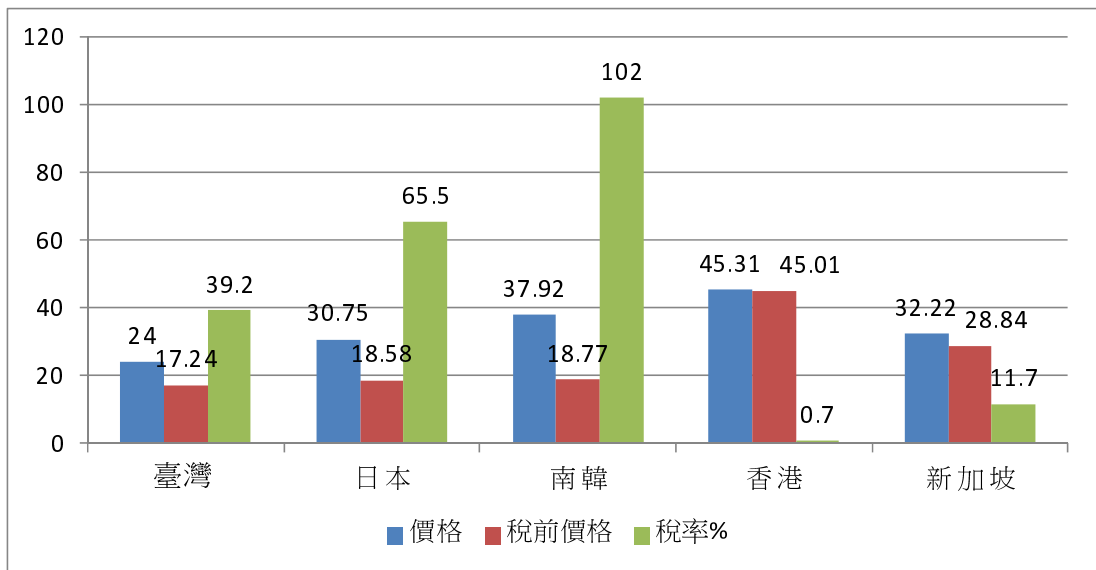
Sterner (2007) 分析燃料需求彈性時，假設燃料之需求決定於所得和價格，結果發現 OECD 國家採行高稅率價格政策的國家（如義大利、英國及荷蘭），使運輸業降低對汽油之需求量，其碳排放量約降低 44%。然而，近 10 餘年來，由於國際油價大幅飆漲，平均漲幅超過 397%（如圖 2），以 2011 年為例，世界原油價格已創下每桶達 110 美元以上新高。由於進口油價屢創新高，使臺灣購油支出成本大幅增加，但政府為顧及民生物價穩定，並未合理反映原油進口成本，導致長期以來國內油品價格遠低於國際油價水準。

以 2015 年 5 月臺灣與亞洲主要國家及 OECD 選樣國家之柴油價格為例，臺灣油價不但低於臨近日本、南韓、香港及新加坡等國家（見圖 3），亦低於美國、加拿大、德國、義大利、西班牙、英國及法國等（見圖 4）。



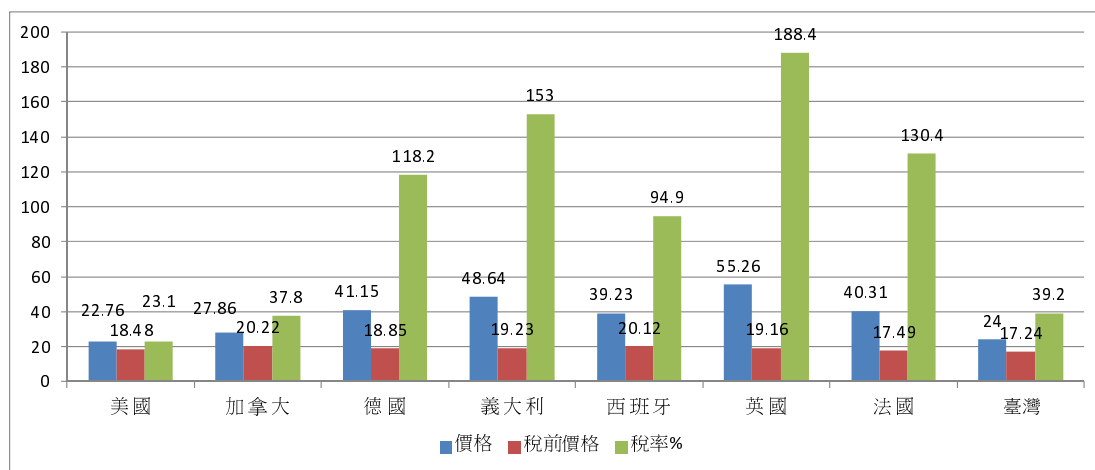
資料來源：經濟部能源局（2015）。

圖 2 國際原油價格趨勢：1991-2014 年



資料來源：經濟部能源局（2015）。

圖 3 臺灣與亞洲主要國家柴油價格比較：2015 年 5 月



資料來源：經濟部能源局。

圖 4 臺灣與 OECD 選樣國家柴油價格比較：2015 年 5 月

### 三、政策工具對節能減排之影響

#### (一) 能源稅的影響

根據理論與實證文獻之證據顯示，長期的能源價格需求彈性大於短期，亦即長期採行與環境相關稅費，可以降低能源消費，俾達到環境保護之目的。然而，由於能源產品（如煤、天然氣、汽油或能源）對於氣候變遷排放之污染程度不同，因此，OECD 國家為使能源產品間之替代效果顯著，分別按每一種化石燃料之碳含量制定其相對稅率，以促使能源使用者（企業及家計單位）以較低碳密集之能源，替代高碳排放係數之化石燃料。茲因影響燃料需求量的主要因素為其價格和所得，而燃料價格又與燃料稅的高低息息相關。Jasen and Klaassen（2000）採 3 種不同的模型<sup>4</sup>，模擬情境中給予能源密集產業免稅優惠，並假設將調高或實施能源產品最低貨物稅率後，所增加之稅收用於降低社會安全捐，結果顯示，課稅

<sup>4</sup> 3 種模型分別為（1）HERMES（Harmonised European Research for Macrosectoral and Energy System）：係由 6 個歐盟總體經濟國家組成之連結計量模型進行分析，模型中包括 9 個部門、8 種能源產品；勞動市場之名目工資依失業率及生產力而定；免稅條件方面，係所有國家之中間財貨免稅。（2）GEM-E3（General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment）：針對 14 個歐盟國家進行可計算一般均衡模型之動態分析，包括 18 個部門、4 項能源產品。免稅條件方面，若是能源成本超過 10%，按不同國家區別免稅之處理。（3）E3ME（Energy- Environment-Economy Model for Europe）：係一跨區域（regionalized），歐盟跨部門模型（sectoral model of the EU），整合時間序列（time-series）與跨部門（cross-section）之計量經濟模型，模型中包括 11 個歐盟國家、30 個部門及 11 項能源產品。

調整對於經濟影響的衝擊不甚顯著，大抵介於 0.02%至 0.2%之間，此一數據與大部分歐盟（EU-wide）每年 GDP 成長介於 160 億至 162 億歐元相符合；對於就業的影響也不顯著，但為正向，估計可創造 14 萬 6,000 至 33 萬 5,000 個就業機會；增加的能源稅導致大部分歐盟國家相較於基期，約減少 0.9%至 1.6%的 CO<sub>2</sub> 排放量，而其他污染的排放亦降低；以及當課稅使能源消費相對於勞動就業較為昂貴，整體經濟結構將會降低能源密集而成為比較勞動密集之結構，結果使得能源消費量降低，CO<sub>2</sub> 的排放量亦減少，此乃勞動與能源之替代效果，促使歐洲經濟部門結構產生變換。

Sternier (2007) 根據國際能源局 (IEA 2006) 資料，比較美國與歐洲之燃料稅及平均每人燃料使用量，結果發現美國課徵之燃料稅稅率 (10 cents/liter) 顯著地低於歐洲各國平均稅率 (80 cents/liter)，也低於歐洲最低稅率 (44.6 cents/liter)，推論此一偏低的稅率與燃料的使用量具有密切關聯性。據此，Sternier (2007) 假設汽油之價格彈性為 -0.8，據以比較分析各國調整稅率對燃料需求的影響。研究結果發現，若全體 OECD 國家採行最低稅率 (10 cents/ liter)，則汽油使用量將增加 33%；採用最高稅率 (100 cents/liter)，則其汽油使用量將降低 44%，同時亦可有效降低運輸業的碳排放量。其次，假設美國採用最高稅率，則其汽油使用量將減少 57%。此外，假設歐洲國家採用最高稅率，則其汽油使用量將減少 8%；若採行最低稅率，則其汽油使用量將增加 116%。上述情境分析結果顯示課徵燃料稅確實有助於節能減排。

## (二) 貿易政策的影響

由於全球經濟之日益整合，實難以忽視國內環境政策法規對於國際貿易之影響；再者，若是環境品質為正常財，由貿易與經濟成長帶動所得成長，因而提升對於環境品質之需求，亦使得本國與外國之環境品質愈加受到重視。雖然大部分文獻認為自由貿易對於環境之影響極微，但利用簡單的拆解法分析，研究結果發現，貿易自由化所誘發的污染變動量可歸因於規模效果 (scale effect)、組成效果 (composition effect) 及技術效果 (technique effect) 等 3 項效果的交互作用結



果，<sup>5</sup>即經濟規模擴大，以及污染財貨占國民所得之比例增加，均將導致污染排放增加，但減排技術的提升將可達到污染排放減量之目的。(Copeland *et al.*, 2004)

Ederington and Minier (2003) 採美國 1978 年至 1992 年製造業之污染防治成本之跨部門時間序列資料，分別建立淨進口規模及衡量環境法規嚴格性之模型，在其模型中利用 Hausman 檢定結果，將環境政策設定為內生變數，並採兩階段最小平方法 (2SLS) 及三階段最小平方法 (3SLS) 推估聯立方程式模型，結果發現，環境法規的嚴苛程度 (即投入較高的污染防治成本) 與貿易流量有顯著的正相關，進口關稅對於貿易流量之影響則呈現顯著的負相關。據此，隱含政府宜對於進口競爭產業 (import-competing industries) 制定較為寬鬆之環境法規，對於出口產業宜制定較為嚴苛的環境法規。Burguet *et al.* (2003) 採兩階段賽局方式，分析雙邊貿易下，兩國政府調降關稅稅率，對於環境政策及福利之影響，研究結果發現，在完全競爭均衡下，若本國與外國從事自由貿易，則雙邊調降關稅稅率可改善本國福利；但在不完全競爭均衡下，雙邊調降關稅誘使產出增加，導致邊際社會成本增加，將誘使政府制定較嚴苛的環境法規；但調降關稅也會使關稅稅收減少，政府為降低國內廠商的邊際生產成本，將制定較寬鬆的環境法規；因此，在自由貿易政策下，雙邊調降關稅稅率對環境政策的影響效果是不確定的。

### (三) 能源價格的影響

世界原油價格在 1973 年至 1974 年、1979 年至 1980 年及 1990 年曾創下 3 次的高價位，另於 2008 年初國際原油價格持續飆漲，並於 2008 年 7 月間達到每桶美金 146 元價位，更創歷史新高。由於國際石油價格履創新高，對於能源需求高度依賴進口國家而言，高油價與總體經濟活動之間往往維持相當高的敏感度。(Glasure *et al.*, 2002)

<sup>5</sup> 規模效果之定義： $S = p_x^0 x + p_y^0 y$ ，其中， $S$  為以產值衡量之經濟規模， $p_x^0$ 、 $p_y^0$  分別表示為污染財 ( $x$ )、乾淨財 ( $y$ ) 之世界價格水準 (設定基期價格為 1 單位來衡量)。然後，利用以上規模效果寫成污染排放為： $z = ex = e\varphi_x S$ ，其中  $\varphi_x = p_x^0 x / S$  表示污染財占總產出之比例 (即組成效果)； $z$  為污染排放； $e$  為排放密集度 (emissions intention)。

討論能源價格對經濟與能源影響的相關文獻中，Glasure and Lee (2002) 建立經濟成長（以實質 GDP 為代理變數）與能源消費 2 條模型，利用向量誤差修正模型（Vector Error-Correction Model, VECM）估計，結果發現，在經濟成長模型下，僅有能源變數對實質 GDP 有顯著影響；在能源消費模型下，實質所得僅透過誤差修正項對能源消費造成影響，據此，乃證實經濟成長與能源消費彼此相互影響。

關於臺灣的能源消費與經濟成長之關係，文獻上常因使用的研究方法不同、資料期間不同、或模型設定不同，而致看法分歧。例如 Chiou-Wei et al. (2008) 認為，臺灣的能源消費與經濟成長之間存有因果關係，推論其可能肇因於重大經濟事件所造成的經濟結構性的改變；Chang et al. (2001) 的實證結果則顯示能源消費對產出的影響（output）為單向因果關係，致使節能政策對經濟成長產生顯著的負面影響；Cheng and Lai (1997) 發現，經濟成長對能源消費的影響也呈現單向因果關係，故認為節能政策不會對經濟成長產生顯著的負面影響。林建甫、周麗芳、何金巡 (2005) 採用總體計量模型，推估國際油價上漲對臺灣總體經濟造成的影響效果，結果顯示：如果政府允許業者合理反映油價，則衝擊幅度可望低於政府干預油價上漲的情境；換言之，國內油價合理反映國際油價，可紓解國際油價上漲的經濟衝擊。Huang et al. (2009) 綜合實質 GDP 與最終能源需求之實證模型的單根檢定與 Granger's 因果檢定（causality test）結果，發現僅有前兩期的實質 GDP 會影響到當期的實質 GDP，當期與前一期之最終能源需求則對當期的實質 GDP 有影響；再者，僅有前兩期的能源消費與實質 GDP 會對當期能源消費有影響。

#### (四) 經濟部門結構的影響

Bruvoll and Medin (2003) 為挪威 1980 年至 1996 年期間的主要經濟部門之總排放量（鉛、二氧化硫、氮氧化物、CO<sub>2</sub>、一氧化碳、PM、NMVOC、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>）的組成因素，所建立的拆解模型，利用拉氏指數法對總排放量之相對影響程度，研究結果發現，其中部門結構因素為 NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 及 NMVOC 等溫室氣體的增量因素，但為其他 7 種氣體的減量因素；Bruvoll and Larsen (2004) 再以相同研究方法，對於挪威 1990 年至 1999 年的排放量（CO<sub>2</sub>、甲烷、N<sub>2</sub>O）

的研究結果發現，部門結構為 CO<sub>2</sub> 的增量因素，但為其他 2 種氣體的減量因素。

Selden, Forrest and Lockhart (1999) 為美國 1970 年至 1990 年期間的 94 個部門別 6 種空氣污染物（懸浮微粒、硫氧化物、氮氧化物、VOC、CO 及鉛）的拆解實證結果發現，部門結構比例之變動，雖造成若干空氣污染排放減量，但不足以抵消人均 GDP 的成長。

#### 四、國內總產出的影響

Bruvold and Medin (2003) 指出，由於環境品質與所得之間具有倒 U 型關係，此與 Kuznets (1955) 主張經濟成長與所得不均 (Economic Growth and Income Inequality) 之關係頗為相似，亦即當經濟發展到某種程度後，環境污染與經濟成長將有「脫鉤」(decoupling) 之空間。

有關環境污染與所得之間的關係，可稱為環境顧志耐曲線 (Environmental Kuznets Curve, EKC) 是否為倒 U 型，以及形成之主要因素，長期以來備受爭議。黃宗煌、鄧秀玲 (2008) 採用傳統的動態國民所得模型，並考慮污染防制投資、污染稅，以及關稅等政策工具，研究結果發現 EKC 未必是倒 U 型，尤其指出使用跨國資料所得到的倒 U 型結果，容易造成計量的謬誤，因為此時各國的 EKC 仍可能具有正的斜率 (亦即污染繼續隨著人均 GDP 的增加而增加)，因此，推定 EKC 時，最好能使用單一國家的資料，推定單一國家的 EKC，較具實質意義；據此，乃指出探討 EKC 是否為倒 U 型之問題，在政策上的涵意並不大，因為 EKC 只能表現環境污染與 GDP 之間的統計關聯性，僅是提供環境污染與 GDP 是否有脫鉤的趨勢，惟主要課題仍以探討驅使二者脫鉤之動力因素與策略研提。至於，使用跨國性資料極可能得到假性 EKC 倒 U 型曲線 (黃宗煌等，2008)。

Hung and Shaw (2004) 認為，所得與空氣污染之間具有雙向 (two-way) 關係，首先，所得直接影響環境品質，係因污染是所得成長之副產品；而所得亦可能間接影響環境品質，亦即隨著所得成長提升改善環境品質的需求，以及透過多種驅動力 (如污防技術的進步、生產技術的改變、消費之結構變化及產業結構變化、國際貿易，以及所得效果等) 而對環境品質造成影響。其次，污染對於生產也可能有以下影響：(1) 污染可能對於環境形成負外部性，因而直接降低產量、人造資本 (man-capital) 及勞動生產力 (如健康問題使得工作天數減少)，在此情

況下，降低污染排放量可提高生產量；(2) 污染亦可能為一生產要素，生產者為降低污染必需投入污防控制人力及人造資本，若不從事污防控制，則部分產出可視為污染對產出的貢獻，在此情況下，若是降低（增加）污染排放量，則使生產量下降（增加）。

綜觀歷有文獻可知，通常區域性的環境污染問題（如改善水的品質及衛生環境等）及與區域性之空氣污染問題（懸浮微粒、二氧化硫、二氧化氮、揮發性有機廢氣、一氧化碳及鉛等），由於排放減量的效益可由當地民眾直接受益，在效益高於成本情況下，此一問題可獲得優先解決，因此倒 U 型的 EKC 對於描述地方及區域性之環境問題，是一良好的指標<sup>6</sup>（Bruvoll and Medin, 2003; Hung and Shaw, 2004; Selden, Forrest and Lockhart, 1999）。至於，全球性污染問題方面，Bruvoll and Medin（2003）認為，二氧化碳排放減量對大部分國家而言效益極小，因而其從事減量之誘因亦相對較小，往往需透過國際合作及協定，以解決此一問題。

## 參、實證模型設定及其預期結果

### 一、實證模型設定

以下探討如何兼顧經濟成長、能源與環境之永續發展策略，由於三者之間具有相互影響關係，乃建立聯立方程式模型，採兩階段最小平方法（Two stage least square, 2SLS）進行實證研究。

根據歷有文獻的見解及基礎經濟理論，建立以下的聯立體系，包括實質 GDP（ $Y$ ）生產函數（見式（1））、能源需求（ $ENG$ ）函數（見式（2））、及 GHG 排放（ $P$ ）函數（見式（3））等。

$$Y_t = f(K_t, L_t) \quad (1)$$

式中， $Y_t$  為第  $t$  年之 GDP； $K_t$  為第  $t$  年之固定資本形成； $L_t$  為第  $t$  年的勞動力。

$$P_{it} = h(ENG_t, INDINT_t, CO2IN_t, TOT_t) \quad (2)$$

<sup>6</sup> Bruvoll and Medin（2003）亦指出，由於環境財為正常財，當所得水準提高時，因而相對提升其對於較乾淨環境之需求。

式中， $P_{it}$ 表示第  $t$  年之第  $i$  種的溫室氣體（包括二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）、甲烷（ $\text{CH}_4$ ）、氧化亞氮（ $\text{N}_2\text{O}$ ）、氫氟碳化物（ $\text{HFCs}$ ）、全氟碳化物（ $\text{PFCs}$ ）、六氟化硫（ $\text{SF}_6$ ））排放量； $\text{INDINT}_t$ 為第  $t$  年之能源密集工業實質生產毛額占實質 GDP 比例（反映產業結構）； $\text{CO}_2\text{IN}_t$ 為第  $t$  年國內能源消費量之  $\text{CO}_2$  排放密集度（反映能源結構）。

$$\text{ENG}_t = g(Y_t, Y_{t-1}, \text{ENV}_t, v_t, v_{t-1}) \quad (3)$$

式中， $\text{ENG}_t$ 表示國內能源消費量， $Y_t$ 與 $Y_{t-1}$ 分別為本期與前期之實質 GDP； $\text{ENV}_t$ 為第  $t$  年之環境實質稅（費）率<sup>7,8</sup>； $v_t$ 為第  $t$  年之平均國際原油價格的變動率； $v_{t-1}$ 為前 1 期之平均國際原油價格的變動率。

## 二、預期結果

依據以上聯立體系，設定生產函數、溫室氣體排放函數及能源消費需求函數等，與各項變數的預期結果。茲說明模型中各重要方程式的設定方式如下：

### (一) 生產函數

$$\ln Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln K_t + \alpha_2 \ln L_t + \alpha_3 (\ln K_t)(\ln T) + \varepsilon_t \quad (4)$$

假設生產函數（ $Y=F(K,L)$ ）具有如下特性： $F_K > 0 > F_{KK}$ ， $F_L > 0 > F_{LL}$ ，其中  $Y$  為實質產出， $K$  及  $L$  分別為資本與勞動的投入， $F_K$  及  $F_L$  為  $F$  分別對  $K$  及  $L$  的第 1 階偏微分， $F_{KK}$  及  $F_{LL}$  為  $F$  分別對  $K$  及  $L$  的第 2 階偏微分。由  $F_K > 0$  及  $F_L > 0$ ，表示生產函數符合每個要素的邊際生產力為正。

#### 1. 固定資本形成變動對經濟成長的影響

先是就  $K$  式（4）偏微分而得 GDP 之資本彈性如（5）式：

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln K} = \alpha_1 + \alpha_3 \cdot \ln T, \quad \alpha_1 > 0 \quad (5)$$

#### 2. 勞動力變動對經濟成長的影響

再就  $L$  對式（4）偏微分而得 GDP 之勞動彈性如（6）式：

<sup>7</sup> 環境相關稅費包括油氣類貨物稅、車輛貨物稅（汽車及機車）、石油基金（自 2002 年起開徵）、汽車燃料使用費、空氣污染防治費（自 2001 年 11 月起開始徵收）、土壤及地下水污染整治費（自 2001 年 11 月起開始徵收）以及使用牌照稅等。

<sup>8</sup> 由於課徵環境稅費可提高能源價格，對於降低能源消費量可產生直接效果。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln L} = \alpha_2, \quad \alpha_2 > 0 \quad (6)$$

由式(5)及(6)可知，生產函數中之要素投入量的邊際生產力為正值，且資本要素隨時間經過而變動。

## (二) GHG 排放函數

本文所設定的 GHG 排放量方程式如式 7 所示：

$$\ln P_{it} = \beta_0 + \beta_1(\ln ENG_t)(\ln T) + \beta_2 \ln CO2IN_t + \beta_3 \ln TOT_t + \beta_4 \ln INDINT_t + \delta_t \quad (7)$$

其中  $P_{it}$  為第  $t$  年的各項溫室氣體（包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氫氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫）排放量； $ENG_t$  為第  $t$  年之國內能源消費量； $TOT_t$  為第  $t$  年之貿易條件； $CO2IN_t$  為第  $t$  年國內能源消費量  $CO_2$  排放密集度； $INDINT_t$  為第  $t$  年之能源密集工業實質生產毛額占實質 GDP 比例； $T$  為時間趨勢； $\delta_t$  為殘差項。

根據 GHG 排放拆解法，能源的碳密集度及產業結構也是重要的驅動力；國外的經驗顯示，減排的最有效方式在於能源替代與產業結構調整 (OECD, 2005)。因此，吾人預期下列實證結果：

$$\frac{\partial \ln P}{\partial \ln ENG} = \beta_1 \cdot \ln T < 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \ln P}{\partial \ln CO2IN} = \beta_2 > 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial \ln P}{\partial \ln INDINT} = \beta_4 > 0 \quad (10)$$

式(8)表示，GHG 排放的能源彈性與時間有關，由於能源技術的進步和潔淨能源的推廣應用，一般預期  $\beta_1 < 0$ ，亦即彈性隨時間經過而遞減。式(9)及式(10)則分表示 GHG 排放量將與能源密集工業實質生產毛額占實質 GDP 比例 ( $INDINT$ )、及能源的  $CO_2$  密集度 ( $CO2IN$ ) 呈同向變動。

為分析改善貿易條件對 GHG 排放的影響，可就 TOT 對式(7)偏微分，其結果如式(11)：

$$\frac{\partial \ln P}{\partial \ln TOT} = \beta_3 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad (11)$$

根據歷有文獻可知，改善貿易條件對 GHG 排放的影響，將視不同情況而定，其結果未有定論。若是環境品質為正常財，由貿易與經濟成長帶動所得成長，因而提升對於環境品質之需求，亦使得本國與外國之環境品質愈加受到重視。Copeland *et al.* (2004) 利用簡單的拆解法分析，研究結果發現，經濟規模擴大，以及污染財貨占國民所得之比例增加，均將導致污染排放增加，但減排技術的提升將可達到污染排放減量之目的。

### (三) 能源消費需求函數

本文在實證分析時所設定之能源需求函數如式 (12) 所示：

$$\ln ENG_{it} = \gamma_0 + \gamma_1(\ln Y_t)(\ln Y_{t-1}) + \gamma_2 \ln Env_t + \gamma_3 \ln v_t + \gamma_4 \ln v_{t-1} + \eta_t \quad (12)$$

式中，表示國內能源消費量方程式，其中  $Y_t$  為本期國內生產毛額； $Y_{t-1}$  為前期國內生產毛額； $Env_t$  為第  $t$  年之環境實質稅（費）率； $v_t$  表示國際油價變動率； $v_{t-1}$  表示前 1 期國際油價變動率； $\eta_t$  為殘差項。

#### 1. 國際原油價格本期變動率與前期變動率，及環境稅（費）變動對能源消費需求之影響

過去文獻大都側重於價格水準對需求的影響，而忽略能源價格震盪的效果。近年來國際能源價格起伏震盪甚劇（參見圖 2），其對能源需求的影響始受關注，惟彼此間的關聯機制，迄無較具體實證結果可考。由於價格變動具有高度不確定性，對於需求的影響也與消費者風險態度（risk attitude）有關，故其效果亦屬實證問題。因此，國際油價變動率對能源需求的影響難以事前認定（如 (13) 式、(14) 式所示）：

$$R_{eng,v_t} \equiv \frac{\partial \ln ENG}{\partial \ln v_t} = \gamma_4 \cdot v_t \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad (13)$$

$$R_{eng,v_{t-1}} \equiv \frac{\partial \ln ENG}{\partial \ln v_{t-1}} = \gamma_5 \cdot v_{t-1} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad (14)$$

Sterner(2007)比較美國與歐洲國家之平均每人燃料使用量與環境稅稅率後發現，美國人均燃料使用量偏高，此與其偏低環境稅費密切相關。據此可推論，課徵環境稅費與能源價格密切相關。基於要素條件需求（conditional input demand）原理，吾人預期能源需求與環境稅費（*Env*）之關係如下：

$$\frac{\partial \ln ENG}{\partial \ln Env} = \gamma_2 < 0 \quad (15)$$

## 2. 國內生產毛額變動對能源消費需求之影響

根據生產要素條件需求理論，GDP 應是影響能源需求量的另一關鍵因素，歷有實證分析相當多，大都表明二者之間存在密切關聯。此外，在能源需求的因素拆解文獻中（Bruvoll et al., 2003, 2004；Selden et al., 1999；Liu, 2007；黃宗煌等，2008），GDP（拆解為人均 GDP 及人口數二項）更是最為關鍵的驅動力。因此，能源的條件需求函數應滿足以下特性：

$$\frac{\partial \ln ENG}{\partial \ln Y} = \gamma_1 \cdot \ln Y_{t-1} > 0 \quad (16)$$

式（16）表明：能源需求的產量彈性（output elasticity）非一固定常數，而是與前 1 期的所得水準有關。此一設定方式除了反映能源需求的慣性累積特性外，也使實證結果的配適度（goodness of fit）大為提高。

# 肆、資料來源與實證結果

## 一、資料來源與各項變數統計

為推估前一節的實證模型，本文選取 2001 年至 2012 年總體經濟及能源等相關資料，作為分析基礎。表 1 為各項變數定義及資料來源與各項變數基本統計量，其中總體經濟資料取自行政院主計總處總體統計資料庫，能源相關資料取自經濟部能源局，環境相關稅費等資料分別取自財政統計年報、經濟部能源局、交通部路政司及環保署。關於國內生產毛額、固定資本形成等資料，均以 2011 年之消費者物價指數（CPI）平減，以去除物價變動因素<sup>9</sup>。

<sup>9</sup> 以 2011 年為基期年 CPI 平減之計算公式：（當期價格÷基期年 CPI）×100



表 1 變數定義及資料來源與各項變數基本統計量

變數代號 (單位)	變數定義	極大值 (極小值)	平均值 (標準差)	資料來源
$P$ (千公噸)	各項溫室氣體(包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氫氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫)排放量	269,156 (725)	44,824.75 (93,904.51)	經濟部能源局 (2014)
$\ln ENG$ (千公秉油當量)	能源消費量	113,379.70 (90,965.50)	105,364.23 (6,980.76)	經濟部能源局 (2014)
$Y_t$ (新臺幣百萬元)	當期國內生產毛額	14,607,569 (9,054,580)	11,879,163.67 (1,783,584.84)	行政院主計總處 總體統計資料庫 (2014)
$CO2IN$ (CO <sub>2</sub> 排放量/ 國內能源消費量; 公噸(CO <sub>2</sub> )/ 公秉油當量)	國內能源消費量 CO <sub>2</sub> 排放密集度	2.49 (2.27)	31.80 (28.70)	經濟部能源局 (2014)
$INDINT$ (%)	能源密集工業實質生 產毛額占實質 GDP 之 比例	31.80 (28.70)	30.35 (1.11)	經濟部能源局 (2014)
$T$	時間趨勢	12 (1)	6.5 (3.48)	自行計算
$Y_t$ (新臺幣百萬元)	當期國內生產毛額	14,607,569 (9,054,580)	11,879,163.67 (1,783,584.84)	行政院主計總處 總體統計資料庫 (2014)
$\ln Y_{t-1}$ (新臺幣百萬元)	前期國內生產毛額	14,312,200 (6,282,623)	11,185,418.17 (2,170,459.44)	自行計算
$v_t$ (%)	國際原油價格變動率 (計算杜拜、北海布蘭 特、西德州等三地之平 均國際原油價格變動 率)	41.54 (-36.33)	13.96 (22.02)	自行計算
$v_{t-1}$ (%)	前 1 期國際原油價格 變動率	56.25 (36.33)	18.58 (24.49)	自行計算
$ENV_t$ (新臺幣百萬元/ 千公秉油當量)	環境實質稅(費)(環境 相關稅費/國內能源 消費量)	2.61 (1.95)	2.33 (0.22)	財政統計年報 (2014)、「土壤及 地下水污染整治 基金來源與用途 表」、「空氣污染防 治費收入及支出 明細表」(2014)、 經濟部能源局 (2014)、交通部 路政司(2014)

變數代號 (單位)	變數定義	極大值 (極小值)	平均值 (標準差)	資料來源
<i>TOT</i> (%)	貿易條件(出口總值/ 進口總值)	1.09 (1.06)	1.12 (0.04)	行政院主計總處 總體統計資料庫 (2014)
<i>K</i> (新臺幣百萬元)	固定資本形成	3,518,516.00 (2,839,615.00)	3,207,301.92 (238,226.81)	行政院主計總處 總體統計資料庫 (2014)
<i>L</i> (%)	15 歲以上就業人口占 總人口的比例	0.84 (0.77)	0.80 (0.02)	行政院主計總處 總體統計資料庫 (2014)

資料來源：本文整理。

## 二、實證結果

本文呈現之最後結果為多次推估結果之最終選擇（見表 2 至表 4）。

表 2 顯示，固定資本形成、勞動力，以及固定資本形成與時間趨勢之乘積，皆對 GDP 有極為顯著之正向影響，此一結果與新古典生產函數（neoclassical production function）的邊際要素生產力為正向的特性相符。

表 2 臺灣 GDP 生產函數之推估結果：2001-2012 年

變數	參數	估計係數	標準差	P 值
<i>Constant</i>	$\alpha_0$	12.34***	0.2832	0.0000
$\ln K$	$\alpha_1$	0.3234***	0.0199	0.0000
$\ln L$	$\alpha_2$	4.3763***	0.1252	0.0000
$(\ln K)(\ln T)$	$\alpha_3$	0.0019***	0.0003	0.0000
<i>N</i>	72			
$R^2$	0.9960			
<i>Adjusted. R<sup>2</sup></i>	0.9958			

資料來源：本文整理。

註：\*\*\*表示 p-value=1%的顯著水準；\*\*表示 p-value=5%的顯著水準；\*表示 p-value=10%的顯著水準。

由表 3 可以發現，時間趨勢與能源消費量之乘積與 GHG 排放量具有顯著負相關，顯示 GHG 排放量隨時間經過而顯著降低，此一結果顯示，由於能源技術進步和潔淨能源的推廣應用，導致 GHG 排放的能源彈性亦與時間有關；國內能源消費量 CO<sub>2</sub> 排放密集度 (*CO2IN*) 因素亦與 GHG 排放量呈正相關性；能源密集工業實質生產毛額占實質 GDP 之比例 (*INDINT*) 與 GHG 排放量呈正相關係，

但其效果並不顯著（因彈性值不顯著地異於 0）。

表 3 臺灣 GHG 排放量函數之推估結果：2001-2012 年

變數	參數	估計係數	標準差	P 值
Constant	$\beta_0$	9.105**	4.531	0.0458
(lnENG)(lnT)	$\beta_1$	-0.893***	0.238	0.0002
ln CO2IN	$\beta_2$	0.897***	0.245	0.0003
ln TOT	$\beta_3$	-0.174	0.776	0.8225
ln INDINT	$\beta_4$	0.614	1.174	0.6019
<i>N</i>	72			
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.9896			
<i>Adjusted. R</i> <sup>2</sup>	0.9890			

資料來源：本文整理。

註：\*\*\*表示 p-value = 1% 的顯著水準；\*\*表示 p-value = 5% 的顯著水準；\*表示 p-value = 10% 的顯著水準。

表 4 顯示，本期與前 1 期之 GDP 乘積亦對能源需求有顯著正相關；實質環境稅費在 1% 顯著水準下呈顯著負相關，此與 Sterner (2007) 的研究相符；國際原油價格之本期變動率在 1% 顯著水準下呈顯著正相關，至於前期變動率對於能源需求之影響並無顯著性效果。

表 4 臺灣能源需求函數之推估結果：2001-2012 年

變數	參數	估計係數	標準差	P 值
Constant	$\gamma_0$	9.07198**	0.1532	0.000
(lnY <sub>t</sub> )(lnY <sub>t-1</sub> )	$\gamma_1$	0.00968***	0.0005	0.000
lnEnv	$\gamma_2$	-0.089***	0.032	0.000
$v_t$	$\gamma_4$	0.00058***	0.00012	0.000
$v_{t-1}$	$\gamma_5$	0.00007	0.00009	0.431
<i>N</i>	72			
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.9325			
<i>Adjusted. R</i> <sup>2</sup>	0.9285			

資料來源：本文整理。

註：\*\*\*表示 p-value = 1% 的顯著水準；\*\*表示 p-value = 5% 的顯著水準；\*表示 p-value = 10% 的顯著水準。

## 伍、結論與建議

世界各國為達成國家經濟發展目的，往往帶動能源的大量消耗，尤其是化石燃料，因而導致能源短缺、GHG 排放、全球暖化及氣候變遷等潛在危機。臺灣於「溫室氣體減量及管理法」(2015) 中，具體規範溫室氣體減量目標。是以，評估各項政策變數與經濟成長等，對節能減排的影響，頗值探討。

本文彙整相關文獻探討 OECD 國家與臺灣的環境政策概況；環境稅、國際油價變動率、貿易政策、能源技術、產業結構及經濟等，對節能減排之影響。根據歷有文獻見解及基礎經濟理論，建立聯立方程式模型，包括實質 GDP 生產函數、能源需求函數及 GHG 排放函數，採 2SLS 進行實證研究，並分析其政策意涵，據此，研擬以下節能減排策略：

- 一、依據本文推估的環境稅（費）彈性可見，現行環境稅確具節能效果，但長期而言，尚不足達成 GHG 減排效果。如能儘速通過「能源稅條例」立法，則可提高節能減排的誘因。
- 二、近年來國際能源價格持續上升，震盪幅度極高，但實證結果顯示，對能源需求並無減量影響。此與國內能源價格受到政策性干預有關。由此可見，能源價格合理化，有助於達成節能減排效果。
- 三、依實證結果顯示，國內能源消費量 CO<sub>2</sub> 排放密集度乃係構成 GHG 排放的正向顯著因素。未來宜建立完整碳排放交易制度，俾利落實「溫室氣體減量及管理法」規範，以達成減排目的。
- 四、依據本文推估的能源消費產出彈性可見，隨著產出增加雖顯著帶動能源消耗，但近年來隨著能源技術進步和潔淨能源的推廣應用，確實具有降低 GHG 排放效果，惟未來生產者宜投入發展能源技術的人力與資本，俾進一步達成節能之目的。

## 參考文獻

### 一、中文部分

1. 林建甫、周麗芳、何金巡（2005），「建構臺灣總體計量模型：油價、景氣與政府財政的總體經濟計量分析」，高雄大學。
2. 黃耿信、單珮玲、黃宗煌（2008）。「CO<sub>2</sub> 排放與經濟成長脫鉤的機制」，經濟部能源局委託研究成果發表會《永續能源發展、排放交易與競爭力》。
3. 吳珮瑛、劉哲良、蘇明達（2006），「由永續發展概念到生活品質內涵的檢視－臺灣 EKC 的再檢驗與 SKC 的呈現」，農業經濟叢刊，12:1，61-103。
4. 黃宗煌、鄧秀玲（2003），「環境顧志耐曲線的斜率以及關稅的環境效果」，未發表論文。
5. 陳明郎（2006），總體經濟學，臺北：學富文化事業有限公司。

### 二、英文部分

1. Bruvoll, A. and B. M. Larsen (2004). "Greenhouse Gas Emissions in Norway: Do Carbon Taxes Work?" *Energy Policy* 32: 493-505.
2. Bruvoll, A. and H. Medin (2003). "Factors Behind the Environmental Kuznets Curve: A Decomposition of the Changes in Air Pollution." *Environmental and Resource Economics* 24: 27-48.
3. Selden, T. M., A. S. Forrest and J. E. Lockhart (1999). "Analyzing the Reductions in U.S. Air Pollution Emissions: 1970 to 1990." *Land Economics* 75(1): 1-21.
4. Hung, M. F. and D. Shaw (2004). "Economic Growth and the Environmental Kuznets Curve in Taiwan: A Simultaneity Model Analysis." In *Human Capital, Trade and Public Policy in Rapidly Growing Economies, From Theory to Empirics*, Michele Boldrin, Been-Lon Chen, and Ping Wang (eds.), 269-290.
5. Huang, C.H. and P.L. Shan and C.W. Yang (2009). "Measurement of Energy Efficiency in Taiwan and Its Relevance to CO<sub>2</sub> Decoupling." presented at the *Workshop on Innovations in Energy Efficiency*. Stanford University, California.

6. Chiou-Wei, S.Z., Chen, Ching-Fu, Zhu, Z. (2008). "Economic growth and energy consumption revisited-evidence from linear and nonlinear Granger causality." *Energy Economics*, 30(6), 3063-3076.
7. Cheng, B. S., Lai, W. L. (1997) An Investigation of Cointegration and Causality between Energy Consumption and Economic Activity in Taiwan. *Energy Economics* 19: 435-444.
8. Glasure, Y.U. and A.R. Lee (2002). "The Impact of Oil Prices on Income and Energy." *International Advanced in Economic Research* 8(2), 148-154.
9. Burguet, R., J. Sempere (2003). "Trade liberalization, environmental policy, and welfare." *Journal of Environmental Economics and Management* 46: 25-37.
10. Copeland, B. R. and M. S. Taylor (2004). Trade, "Growth, and the Environment." *Journal of Economic Literature*, XLII: 7-71.
11. Ederington, J. and M. Jenny (2003). "Is Environmental Policy a Secondary Trade Barrier? An Empirical Analysis." *Canadian Journal of Economics* 36(1): 137-154.
12. Jansen, H. and G. Klaassen (2000). "Economic Impacts of the 1997 EU Energy Tax: Simulations with Three EU-Wide Models." *Environmental and Resource Economics* 15, 179-197.
13. Sterner, T. (2007). "Fuel Taxes: An Important Instrument for Climate Policy." *Energy Policy* 35, 3194-3202.
14. Liu, C.C. (2007). "An Extended Method for Key Factors in Reducing CO<sub>2</sub> Emissions." *Applied Mathematics and Computation* 189, 440-451.
15. OECD (2002), "Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth," OECD.