

# 再生能源消費與所得成長：附加價值貿易觀點

林晉勗<sup>1</sup> 葉承洋<sup>2</sup> 張桂鳳<sup>3</sup> 林師模<sup>4\*</sup>

## 摘 要

本文以歐盟所編製的世界投入產出表為基礎，建構一多國投入產出模型，再搭配能源、社會經濟資料，以估計各國最終消費中的再生能源含量；接著，本文進一步利用追蹤資料因果檢定模型檢驗再生能源消費與經濟成長間的關聯性。在進行因果檢定時，再生能源的使用區分為生產面的使用與消費面的含量，生產面的使用係指產業在生產活動中對再生能源的衍伸需求，需求面的再生能源含量係指在多國多階段價值鏈的概念下，一國最終消費中隱含的再生能源量。本文的實證結果發現，針對本文所涵蓋的國家及地區而言，先進國家生產過程使用的非再生性能源或再生能源，與經濟成長之間不存在因果關係，但若改以消費面的角度來看最終需要中的非再生性能源及再生能源含量，非再生性能源與經濟成長間存在雙向因果關係，亦即非再生性能源的含量增加會刺激經濟成長，經濟成長也會增加對非再生性能源的消費；此外，經濟成長會增加再生能源的消費。這樣的結果間接支持環境願志耐曲線理論，當經濟成長到達一定階段後，環保意識的提升會增加對低汙染能源的需求，進而降低環境的汙染。

**關鍵詞：**再生能源，附加價值貿易，經濟成長，多國投入產出模型

## 1. 前 言

地球環境的長期破壞加上化石能源消費量的不斷升高，已使得全球暖化問題日趨嚴重，結果是各地氣溫頻創新高，天災也更為頻繁。面對日益險峻的環境情勢，如何在經濟發展與環境保護間取得平衡的永續發展理念已成為當今各國所高度重視的議題。一般的認知裡，綠色能源代表潔淨、環保與永續，對於原物料缺乏的國家來說，擁有高比率的綠能，不只能夠自主，也最能掌控未來的能源成本，經濟發展將相對具有優勢，因此，綠能，特別是再生能源的發展不僅是能源安全議題，更是國家

安全議題。

近年來，各國積極推動協助綠能產業發展的政策，例如，日本積極實施低碳社會及開發節能交通工具的政策，韓國也致力推動綠色運輸系統，而我國也早已實施再生能源設備補助之相關政策。然而，發展再生能源是否真會對國家經濟發展帶來正面影響，則仍是一個有待驗證的問題。發展再生能源或提高再生能源的使用比例，往往需要投入大量的成本，不只要扶植綠能相關的產業發展，也需要補貼綠能的使用，而這些投入到底會給經濟帶來更多的動能，還是因此排擠了其他產業的發展，提高了其他產業發展的成本，因此導致整體經濟的

<sup>1</sup> 中原大學國際經營與貿易學系 副教授

<sup>2</sup> 中原大學國貿系 碩士

<sup>3</sup> 中原大學商學博士學位學程 博士候選人

<sup>4</sup> 中原大學國貿系 特聘教授

\*通訊作者 E-mail: [shihmo@cycu.edu.tw](mailto:shihmo@cycu.edu.tw); [shihmolin@gmail.com](mailto:shihmolin@gmail.com)

收到日期: 2019年08月19日

修正日期: 2019年11月04日

接受日期: 2019年11月22日

發展反而受限？基本上，各國政經情勢不盡相同，經濟發展階段也有明顯差異，因此，似乎無法一概而論，而是需要透過實際的驗證才可以得到確切的答案。

邱珮冠與吳珮瑛(2004)指出，再生能源在未成熟階段屬新興產業，發展再生能源產業將對經濟與就業市場有相當程度的正面促進效果。Apergis and Payne (2011)則指出，再生能源消費與經濟成長間在短期有正向密切關係，但最終會達到一個平衡，其分別對單國、區域做類似的探討，發現對東南亞國家而言，再生能源消費與國外投資、資本累積及經濟成長都有顯著的關聯，但其他地區則不一定成立。

事實上，在探討再生能源發展或消費與經濟成長間是否具有關聯時，如何衡量再生能源發展或消費的量是一個值得關注的問題，因為不同的衡量方式將會導致不同的實證結果。近年來貿易全球化日益興盛，在產品國際專業分工下，供應鏈可能由許多國家的產業所組成，其中一國可能只負責生產產品的一部分，或多次往返於各個國家之間進行製造，其間可能都會使用到再生能源。也因此，一國的再生能源發展，不只是將產品或零組件供應本國使用，也會將這些產品或零組件出口成為全球供應鏈的一部分；同理，一國消費的最終產品中，到底有多少再生能源含量，以及其中到底有多少是來自本國貢獻的部分，而又有多少是來自外國貢獻的部分？都是在衡量再生能源生產及消費量時需要加以仔細考量的地方。

本文係希望探討再生能源發展與經濟或所得成長間的關聯性，而考量到近年全球供應鏈及中間財貿易日益興盛，衡量一國再生能源生產及消費的量時需要有一個較為精確的作法，因此本文採取多國產業關聯的架構，利用歐盟所編製之世界投入產出資料庫(World Input-Output Database, WIOD)中所提供之世界投入產出表及相關之能源消費資料，以進行相關的探討。具體而言，本文之目的可歸納如下：(1) 在多國產業關聯的架構下，估算歷年各國生產面

及消費面之再生能源量，再進行跨國之比較；(2) 以所估算之各國歷年生產及消費面再生能源含量，探討再生能源與經濟成長間的關聯性。

## 2. 文獻回顧

能源在經濟發展程中扮演舉足輕重的角色，但也因為能源的開發及使用導致溫室氣體排放，破壞了環境的永續發展，造成全球暖化。近年來，國際上普遍的認知是，要兼顧環境保護並能永續發展的選擇之一為發展及使用再生能源，而再生能源技術也因此有了突破性的發展。然而，發展再生能源固然可以解決部分因燃燒化石能源所產生的環境問題，但發展再生能源是否可以同時促進經濟的發展則是另一個值得關心的議題。林幸君與王智薇(1995)曾對臺灣的再生能源電力發展探討其所衍生的向前與向後關聯程度，結果發現部分新能源或再生能源產業部門具有顯著的向前及向後關聯，部分產業能帶動下游產業，而如生質柴油、生質酒精產業、及燃料電池產業等，則能帶動上游產業的發展。

在其他國內外有關再生能源消費與經濟成長間關聯性的探討方面，學者或用單國資料，或用區域、多國資料進行分析，而近來有許多研究特別著重在東南亞、歐洲各國，多數也證明經濟發展與再生能源消費間有緊密的關係。Shahbaz *et al.* (2015)研究發現巴基斯坦的再生能源消費會刺激經濟成長，而經濟成長也會促進再生能源消費；Azam *et al.* (2015)發現東南亞地區之印尼及馬來西亞，再生能源消費與經濟發展並沒有顯著的關係，但發現在泰國及菲律賓經濟成長卻會從固定資本形成的管道影響再生能源消費。

隨著許多國際機構陸續編製及發表詳細之各國經濟、產業及能源使用資料，研究者得以從各個面向，採用不同之研究方法進行探討。例如，Sadorsky (2009)即以追蹤資料(panel data)模型搭配多國及多年期的資料進行

實證估計，結果發現人均所得的增加將導致再生能源消費的成長，且由於新興市場為經濟發展最快速的區域，因此其所得增長最能夠具體帶來再生能源消費的增長。以越南為例，再生能源消費與國外投資、資本累積及經濟成長即有密切的關聯。一般而言，經濟成長與再生能源消費在短期和長期都有可能會有顯著的正向關係。Apergis and Payne (2010)針對歐洲13國進行實證的結果即發現，再生能源消費與經濟發展間不管在短期或長期都具有雙向的影響關係；Apergis and Payne (2012)利用80個國家自1990年至2007年的資料，結果發現無論是短期還是長期，再生能源與非再生能源對經濟成長都很重要，兩者與經濟成長間均存在雙向因果關係。此外，Giray *et al.* (2018)利用OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 29國資料進行實證，也發現再生能源消費及非再生性能源消費都與經濟成長有顯著正向的關係。

上述之外，實務上針對能源消費之衡量可從兩個角度來思考，其一為既有文獻上常有的分析，亦即從生產面計算所衍伸的能源消費需求；另一角度是從全球價值鏈的角度來思考，也就是計算一國最終財於多國多階段價值鏈中所需投入的能源來計算，而此一面向主要利用多國投入產出模型進行估算。例如，Gasim (2015)利用多國投入產出模型計算進出口貿易產品中隱含的能源使用量，Cortés-Borda *et al.* (2015a)則是計算貿易財中隱含的核能使用量，Rocco and Colombo (2016)也針對不同性質的國家，比較採用單區域投入產出模型及多區域投入產出模型計算其最終需要所隱含能源使用量的差異。其餘如Cui *et al.* (2015)、Liu *et al.* (2018)、Tao *et al.* (2018)、Zhong (2009)、Chen *et al.* (2019)等，均以類似的概念計算在多區域多階段生產下，最終消費或貿易財的能源含量(直接及間接能源使用量)。而再生能源亦

可以同樣的方式來估算，如Cortés-Borda *et al.* (2015b)曾計算國際貿易中，商品及服務所隱含的太陽能使用量。

投入產出分析在文獻中已經被廣泛認為是進行生命週期評估(life cycle assessment, LCA)的適當方法論及工具，可以估算詳細產品或系統的生命週期對整個經濟環境的影響(Heijungs and Suh, 2002；Suh and Huppes, 2005；Suh and Kagawa, 2005；Rocco and Colombo, 2016)。從附加價值鏈的角度來思考的原因，主要是因為各國生產時雖需投入能源，然而生產後的財貨又可區分為中間財與最終財，中間財會再做為本國產業的中間投入再製為最終財，但亦有可能出口至其他國家，或出口至其他國家加工後再進口消費。當然，最終財也有可能銷售至他國消費，或由本國做最終消費。從生產面所衍生的需求無法反映一國最終需要真正對能源或再生能源的需求，因此，從分析上，除了從生產面探討一國經濟成長與再生能源消費的關係之外，也應從最終需求的消費面角度探討經濟成長與再生能源消費間的關係<sup>1</sup>。

在估算產品生產過程中，直接及間接使用的能源，除了如前述文獻利用多區域投入產出模型之外，亦有部分文獻採用單國能源投入產出模型，如Chen and Chen (2015)、Liu *et al.* (2018)等。雖然使用單國模型分析時，資料大多來自該國政府統計資料，對該國資料的正確性較高，然而單國模型的缺點在於須假設進口中間財的生產技術與本國相同，亦即有著相同的中間財投入結構與能源投入係數。而採用多國投入產出模型時，因多國資料編製較為複雜，以致對個別國家資料刻畫較為粗略，但多國模型卻能展現國與國貿易互動的影響，以及多國多階段生產價值鏈的真實投入結構。

在能源的應用之外，也有文獻使用附加價值貿易觀點來探討碳排放責任的歸屬，如林師模等(2017)在分析國際碳排放的責任歸屬

<sup>1</sup>從全球價值鏈的角度，林晉勗等(2017)認為，在全球化的發展下，由於中間財貿易比重大幅增加，已使得傳統統計貿易無法真實反映各國之間貿易的情況，中間財會間接或直接抵達最終消費地，使得涵蓋多個地方的價值。



時分別以傳統生產面及價值鏈等不同觀點估算各國之碳排放量；張新橋(2013)也曾利用附加價值貿易的觀念計算中國出口貿易之碳足跡並以結構分解來探討其中的意義；阮霸安海(2014)則是利用多國投入產出價值鏈的概念分析全球能源消費增加的原因；其餘如Zhang *et al.* (2015)、Jiang and Guan (2016)、Duarte *et al.* (2018)等文獻，都利用投入產出的方式計算產品於生產過程中隱含的二氧化碳排放量（直接及間接二氧化碳排放量）。

由於全球再生能源技術仍處於持續發展的階段，利用多國產業關聯及附加價值貿易觀念估計生產及消費中之再生能源含量，再探討再生能源消費與經濟成長間關聯之相關文獻幾乎是鳳毛麟角。有鑑於此，本文希望能夠補足這方面文獻的缺乏，也期望本文之成果能提供相關單位在制定政策時之參考。

### 3. 研究方法與資料來源

過去在探討能源或再生能源與經濟成長的關聯性時，多從生產面的角度考慮能源或再生能源的使用量，本文則係從全球附加價值鏈的角度計算生產及消費面的再生能源含量。實際計算時，本文係基於多國產業關聯的架構，利用世界投入產出表及其他相關資料來計算。而在計算得到生產及消費面的再生能源含量後，本文接著利用追蹤資料模型估計再生能源與經

濟成長間的關聯性。

#### 3.1 多國能源投入產出模型

在進入多國模型前，首先以一個單國投入產出架構為例，說明產業關聯的基本理論<sup>2</sup>。假設在一個封閉經濟體系下，也就是沒有進出口的情況，一國有 $n$ 個產業，且當經濟體達到平衡時，總產出=中間需要+最終需要，以矩陣形式可表達為

$$X = Z I + Y \quad (1)$$

其中， $X$ 為總產出向量， $Z$ 為中間需要矩陣， $I$ 為一個每個元素均為1的向量， $Y$ 為最終需要向量。若令 $A$ 為投入係數矩陣， $AX=ZI$ ，則(1)式可調整為

$$X = AX + Y \quad (2)$$

其中， $A$ 為一個維度 $n \times n$ 的投入係數矩陣。(2)式經移項整理，可得

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (3)$$

其中， $I$ 為單位矩陣， $(I - A)^{-1}$ 為Leontief 逆矩陣，也可稱為產業關聯係數矩陣，可用於衡量部門間直接及間接之關聯關係。

將單國投入產出架構加以延伸至多國的架構，將可以了解多國間產業互相之需求互動關係。表1以三國(D, F, 及G)的投入產出關係為例，說明多國投入產出之架構。

表1 多國投入產出表架構(本研究整理)

	Country D	Country F	Country G	Country D	Country F	Country G	
	Ind.	Ind.	Ind.	Final Demand	Final Demand	Final Demand	Total Output
Country D Com.	$Z^{DD}$	$Z^{DF}$	$Z^{DG}$	$Y^{DD}$	$Y^{DF}$	$Y^{DG}$	$X^D$
Country F Com.	$Z^{FD}$	$Z^{FF}$	$Z^{FG}$	$Y^{FD}$	$Y^{FF}$	$Y^{FG}$	$X^F$
Country G Com.	$Z^{GD}$	$Z^{GF}$	$Z^{GG}$	$Y^{GD}$	$Y^{GF}$	$Y^{GG}$	$X^G$
Value Add	$VA^D$	$VA^F$	$VA^G$				
Total Output	$X^D$	$X^F$	$X^G$				

<sup>2</sup>詳細之理論介紹請參見Miller and Blair, 2009。

假設三國均各有 $n$ 個產業部門，每一部門生產一種產品， $Z$ 為各國的中間交易矩陣， $VA$ 為各國附加價值向量， $X$ 為各國產出向量， $Y$ 為各國最終需要向量，則多國的投入產出架構依供給與需求平衡的概念，可表達為

$$\begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^{DD} & Z^{DF} & Z^{DG} \\ Z^{FD} & Z^{FD} & Z^{FD} \\ Z^{GD} & Z^{GD} & Z^{GD} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y^{DD} + Y^{DF} + Y^{DG} \\ Y^{FD} + Y^{FF} + Y^{FG} \\ Y^{GD} + Y^{GF} + Y^{GG} \end{bmatrix} \quad (4)$$

若以投入係數矩陣的方式表達，可寫為

$$\begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{DD} & A^{DF} & A^{DG} \\ A^{FD} & A^{FF} & A^{FG} \\ A^{GD} & A^{GF} & A^{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y^{DD} + Y^{DF} + Y^{DG} \\ Y^{FD} + Y^{FF} + Y^{FG} \\ Y^{GD} + Y^{GF} + Y^{GG} \end{bmatrix}$$

將 $AX$ 移項，並提出 $X$ 後，整理可得

$$\left( \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^{DD} & A^{DF} & A^{DG} \\ A^{FD} & A^{FF} & A^{FG} \\ A^{GD} & A^{GF} & A^{GG} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^{DD} + Y^{DF} + Y^{DG} \\ Y^{FD} + Y^{FF} + Y^{FG} \\ Y^{GD} + Y^{GF} + Y^{GG} \end{bmatrix}$$

將等式左右兩邊同時乘上 $(I-A)^{-1}$ ，可得

$$\begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A^{DD} & A^{DF} & A^{DG} \\ A^{FD} & A^{FF} & A^{FG} \\ A^{GD} & A^{GF} & A^{GG} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} Y^{DD} + Y^{DF} + Y^{DG} \\ Y^{FD} + Y^{FF} + Y^{FG} \\ Y^{GD} + Y^{GF} + Y^{GG} \end{bmatrix}$$

或可寫為

$$\begin{bmatrix} X^D \\ X^F \\ X^G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^{DD} & L^{DF} & L^{DG} \\ L^{FD} & L^{FF} & L^{FG} \\ L^{GD} & L^{GF} & L^{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y^{DD} + Y^{DF} + Y^{DG} \\ Y^{FD} + Y^{FF} + Y^{FG} \\ Y^{GD} + Y^{GF} + Y^{GG} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中， $L$ 為多國產業關聯係數矩陣，即Leontief逆矩陣，可用於評估跨國的產業關聯程度。

(5)式可延伸計算為滿足某一特定國家最終需要時，各國各部門所需生產的水準。以滿足D國最終需要為例，各國所需之產出如下：

$$\begin{bmatrix} X^{DD} \\ X^{FD} \\ X^{GD} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^{DD} & L^{DF} & L^{DG} \\ L^{FD} & L^{FF} & L^{FG} \\ L^{GD} & L^{GF} & L^{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y^{DD} \\ Y^{FD} \\ Y^{GD} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

其中， $X^i$ 代表為滿足D國最終需要， $i$ 國各產業所需生產的產出向量。若再將(6)式乘上各國的

能源投入係數<sup>3</sup>，則可得為滿足某一特定國家最終需要時，全球所使用的能源數量，亦即，以消費面計算之該國最終財中的能源含量。以D國為例，其以消費面計算之最終需要之能源含量為

$$\begin{aligned} R_{con}^D &= [(r^D)'(r^F)'(r^G)'] \begin{bmatrix} X^{DD} \\ X^{FD} \\ X^{GD} \end{bmatrix} \\ &= [(r^D)'(r^F)'(r^G)'] \begin{bmatrix} L^{DD} & L^{DF} & L^{DG} \\ L^{FD} & L^{FF} & L^{FG} \\ L^{GD} & L^{GF} & L^{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y^{DD} \\ Y^{FD} \\ Y^{GD} \end{bmatrix}, \quad (7) \end{aligned}$$

其中， $r^i$ 為 $i$ 國的生產時的能源投入係數向量， $R_{con}^D$ 即為以消費面計算之D國最終消費中的能源含量。若將(7)式略做調整，改乘以「再生能源投入係數向量」<sup>4</sup>，則可估算為滿足某國最終需要時，各國各產業所使用的再生能源數量：

$$RE_{con}^D = [(re^D)'(re^F)'(re^G)'] \begin{bmatrix} L^{DD} & L^{DF} & L^{DG} \\ L^{FD} & L^{FF} & L^{FG} \\ L^{GD} & L^{GF} & L^{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y^{DD} \\ Y^{FD} \\ Y^{GD} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中， $RE_{con}^D$ 為滿足D國最終需要時，全球總再生能源使用量，亦即D國最終消費中所隱含的再生能源數量。

式(8)係針對最終需要的再生能源含量做探討，而生產面之再生能源含量則可以直接以世界投入產出表搭配各國再生能源投入量的資料直接計算而得，其中包含源自本國的投入，也包含來自進口的投入。

### 3.2 追蹤資料模型

因各經濟體間存在個別的差異，具有異質性現象，橫斷面的分析在估計時若未予適當處理將使模型估計結果有所偏誤。至於若僅以時間序列資料估計，則須考量到樣本數是否足夠，以及是否存在序列相關的問題；此外，各

<sup>3</sup>能源投入係數為各產業能源使用量除以各產業產值而得，亦即計算單位產出的能源投入量，本研究在計算能源投入係數時，係以WIOD環境帳資料中之各國各產業能源使用量，除以WIOD多國投入產出表中各國各產業的產值而得。

<sup>4</sup>再生能源投入係數類似於能源投入係數之計算，為各產業再生能源使用量除以各產業產值而得，再生能源使用量同樣取自WIOD之環境帳資料。

國分別估計也忽略了國與國之間存在許多互動的現實。為了克服以上問題，本文採用同時考量時間序列與橫斷面特性的追蹤資料模型進行估計，一方面增加估計的自由度，一方面也降低估計結果可能存在的偏誤。

追蹤資料模型有三種設定或估計方式，分別為混合(pooled)最小平方法、固定效果模型與隨機效果模型。混合最小平方法為最普遍但也最受限的方法，其模型設定如下：

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

固定效果模型也稱為虛擬變數模型，允許各國之間存在差異。國家間的差異係表現在截距項，所以截距項會依各國有所改變，可加入虛擬變數估計此模型如下：

$$Y_{it} = \sum_{i=1}^N \alpha_i D_{it} + \sum_{k=1}^K X_{ikt} \beta_k + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

其中，

$\alpha_i$  = 截距項，以捕捉個別效果；

$\beta_k$  = 迴歸係數；

$D_{it}$  = 國家虛擬變數 =  $\begin{cases} i=1, D_{it}=1 \\ i \neq 1, D_{it}=0 \end{cases}$ ；

$X_{ikt}$  = 第  $i$  國第  $t$  年第  $k$  個解釋變數；

$\varepsilon_{it}$  = 誤差項。

隨機效果模型也稱為誤差成分模型，與固定效果模型一樣，可考慮橫斷面與時間間的資料。隨機效果模型可以表示如下：

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{k=1}^K X_{ikt} \beta_k + V_{it} \quad (11)$$

隨機效果模型與pooled模型最大的差別在誤差項，而由於其誤差項納入了個體的隨機差異，因此估計上也須採用最大概似法，而不是最小平方法。

由於本文資料為40國與15年的資料，考量內生性與變數之間是否定態的問題，故參考Bhattacharya *et al.* (2016)於再生能源消費對經濟

成長的影響探討中，假設生產函數為

$$Y_{it} = f(K_{it}, L_{it}, NREP_{it}, REP_{it}), \quad (12)$$

其中， $Y$ 代表一國的產出，通常以實質GDP (Gross Domestic Product, GDP)為代表， $K$ 為實質資本， $L$ 為勞動投入量， $NREP$ 為生產時非再生性能源的投入、 $REP$ 為生產時再生能源的投入<sup>5</sup>， $i$ 和 $t$ 則分別代表國家別和時間序列。基於此，生產函數可寫為

$$Y_{it} = K_{it}^{\beta_{1i}} L_{it}^{\beta_{2i}} NREP_{it}^{\beta_{3i}} REP_{it}^{\beta_{4i}}, \quad (13)$$

對(13)式取自然對數後，可展開如下：

$$\ln Y_{it} = \beta_{1i} \ln K_{it} + \beta_{2i} \ln L_{it} + \beta_{3i} \ln NREP_{it} + \beta_{4i} \ln REP_{it}, \quad (14)$$

(14)式即為本文之估計模型。另外，為瞭解一國最終需要中再生能源消費與經濟成長間的關係，因此將(14)式略做調整如下：

$$\ln Y_{it} = \beta_{1i} \ln K_{it} + \beta_{2i} \ln L_{it} + \beta_{3i} \ln NREC_{it} + \beta_{4i} \ln REC_{it}, \quad (15)$$

其中， $NREC$ 為最終需要中非再生性能源含量， $REC$ 則為最終需要中再生能源的含量。

### 3.3 資料來源

國際上應用之多國投入產出資料庫主要有歐盟所編製之WIOD及OECD之資料庫。由於WIOD除有跨國投入產出表外，也包含許多社會經濟的資料，更有能源及環境相關統計資料，而本文考量計量估計時需用到其他經濟資料及環境、能源相關資料，故選擇使用WIOD，期間則為1995到2009年之多國投入與產出及經濟、能源相關數據<sup>6</sup>。

WIOD之國家別如表2所示，在實證估計時，我們依各國經濟成長程度的不同，以世界銀行所公告國家區分，再將所有國家區分為已

<sup>5</sup> 由於生產函數中雖納入再生能源及非再生性能源投入，但未納入其他中間投入，因此，產出仍以實質GDP代表。另外，非再生性能源投入指的是再生能源以外之能源投入。

<sup>6</sup> WIOD雖已於2016年發布2000-2014年投入產出數據，並於2018年發布相關的社會經濟帳資料，然而本文計算所需之環境帳資料迄今尚未公布，因此本文之實證仍需仰賴2013年所發布之1995-2009年資料。

表2 WIOD國家別(本研究整理)

No.	Country	No.	Country	No.	Country	No.	Country
1	Australia*	12	Spain*	23	Japan*	34	Russia
2	Austria*	13	Estonia*	24	Korea*	35	Slovak Republic*
3	Belgium*	14	Finland*	25	Lithuania*	36	Slovenia*
4	Bulgaria	15	France*	26	Luxembourg*	37	Sweden*
5	Brazil	16	United Kingdom*	27	Latvia*	38	Turkey
6	Canada*	17	Greece*	28	Mexico	39	Taiwan*
7	China	18	Hungary	29	Malta*	40	United States*
8	Cyprus*	19	Indonesia	30	Netherlands*	41	ROW
9	Czech Republic*	20	India	31	Poland*		
10	Germany*	21	Ireland*	32	Portugal*		
11	Denmark*	22	Italy*	33	Romania		

\*由IMF (2018)世界經濟展望所定義之先進經濟體。

開發及開發中國家兩部分。

上述之外，本文也根據我國再生能源條例第三條對再生能源之定義，從WIOD資料庫之環境篇整理出再生能源資料，包含：生質汽油、生質柴油、生質氣體、水力、地熱、太陽能、風力發電等。而除了計算之再生能源含量外，追蹤資料模型估計所需之其餘資料亦可由WIOD整理而得，包含：實質固定資本存量、勞動從業人數、實質國內生產總額等，其中，實質國內生產總額係以名目國內生毛總額除以各國GDP平減指數而得。

## 4. 實證結果

本文於實證部分首先利用WIOD的資料，直接計算各國生產時的能源投入量、再生能源投入量等資料，接著搭配多國投入產出模型，計算各國最終需要中的能源、再生能源含量，以便進一步利用計量模型估計再生能源與經濟發展的關係。

首先，我們探討各國生產與消費面的能源及再生能源含量。所謂生產面的能源使用，係指產業在生產階段時的能源投入，而根據WIOD的資料，其能源可細分為各種不同特性或技術類別的能源。接著，在消費面的部分，

則是利用多國多階段生產價值鏈的概念，計算各國最終需求的每一個階段中的直接及間接能源、再生能源使用量合計，亦即最終消費中的能源含量及再生能源含量。

接著，本文再用追蹤資料模型探討各國再生能源與經濟成長間的關係，其中，再生能源部分區分為生產面再生能源使用及消費面的再生能源含量。

### 4.1 生產面再生能源使用量及消費面之再生能源含量

首先，利用WIOD資料計算各國生產時再生能源的使用量，以及其占總能源使用的比例，如表3所示。其中，奧地利、巴西、加拿大、拉脫維亞、瑞典是幾個再生能源使用比率比較高的國家，而印尼雖然在早期(1995年)時再生能源使用比率僅3.466%，但到2009年時已增加到8.934%。比較各國從1995至2009年的情況，可看出大部分國家都逐年的提高，一方面反映了再生能源技術的進步，另一方面也某種程度反映一國天然資源開發的情況。例如，臺灣在此期間生產時的再生能源使用不增反減，主要也是由於臺灣因天然資源的限制，在研究期間之再生能源成本仍高，因此再生能源使用比例仍舊偏低；而印尼的部分，其目前再生能



表3 各國生產時的再生能源使用量及占總能源百分比 (本研究整理)

國家	再生能源使用量(1000 TJ)				再生能源投入占總能源百分比(%)			
	1995	2000	2005	2009	1995	2000	2005	2009
澳大利亞	58.0	65.1	68.7	79.5	1.028	1.015	0.986	1.153
奧地利	134.5	154.4	143.9	173.6	9.774	10.928	9.038	11.029
比利時	1.9	3.0	6.6	22.0	0.056	0.079	0.177	0.604
保加利亞	8.3	9.6	17.0	14.9	0.565	0.854	1.378	1.328
巴西	969.2	1,140.6	1,255.6	1,544.4	10.373	9.987	9.649	11.002
加拿大	1,210.3	1,302.6	1,325.5	1,348.0	8.680	8.571	8.200	8.824
中國大陸	706.7	857.4	1578.6	2665.7	1.544	1.688	1.850	2.324
賽普勒斯	1.3	1.5	0.3	1.0	1.131	1.014	0.239	0.803
捷克共和國	9.2	10.1	11.1	20.1	0.399	0.474	0.465	0.891
德國	106.6	151.0	263.5	514.2	0.572	0.806	1.353	2.885
丹麥	5.7	17.0	26.0	29.2	0.415	1.210	1.684	1.816
西班牙	88.1	131.9	159.9	287.1	1.353	1.751	1.877	3.682
愛沙尼亞	0.1	0.1	0.4	0.9	0.036	0.041	0.157	0.350
芬蘭	46.6	53.8	52.0	50.5	2.591	2.658	2.489	2.322
法國	270.5	259.1	213.8	305.4	1.989	1.804	1.442	2.275
英國	34.1	56.1	91.8	151.2	0.276	0.445	0.744	1.399
希臘	13.0	15.1	24.1	34.8	0.796	0.743	1.072	1.575
匈牙利	4.2	4.2	4.7	11.6	0.311	0.319	0.338	0.904
印度尼西亞	186.2	386.6	514.0	710.8	3.466	5.997	7.091	8.934
印度	264.2	276.3	394.9	461.6	1.836	1.423	1.675	1.451
愛爾蘭	2.7	5.1	7.7	17.2	0.547	0.763	1.042	2.386
義大利	269.7	345.0	357.9	465.6	2.661	3.259	3.127	4.568
日本	424.3	452.0	418.9	410.3	1.257	1.318	1.227	1.324
韓國	11.5	16.2	17.9	30.8	0.106	0.111	0.113	0.181
立陶宛	1.3	1.2	1.9	3.8	0.245	0.230	0.247	0.516
盧森堡	0.3	0.6	0.9	2.4	0.360	0.479	0.475	1.266
拉脫維亞	10.6	10.2	12.6	13.1	6.155	7.072	7.266	8.609
墨西哥	303.7	332.9	364.6	345.5	3.568	3.626	3.565	3.384
馬爾他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.034	0.069
荷蘭	3.7	5.8	23.4	29.4	0.055	0.083	0.322	0.445
波蘭	7.3	8.8	12.1	37.2	0.148	0.182	0.245	0.737
葡萄牙	32.1	44.7	27.0	73.6	2.309	2.906	1.627	4.974
羅馬尼亞	60.1	53.4	73.3	58.3	2.210	2.697	3.368	3.173
俄國	632.7	592.9	636.5	643.9	1.624	1.599	1.558	1.540
斯洛伐克	17.6	16.6	17.6	21.8	1.732	1.611	1.569	2.135
斯洛維尼亞	11.7	14.0	12.7	18.7	4.705	5.393	4.425	6.675
瑞典	246.6	286.0	271.3	263.0	7.526	8.709	7.924	8.494
土耳其	132.7	118.3	151.4	158.0	3.940	3.040	3.391	3.267
臺灣	17.5	16.5	14.8	16.5	0.389	0.284	0.197	0.220
美國	1,822.2	1,686.8	1,751.4	2308.2	1.510	1.285	1.307	1.884



表4 各國最終消費之再生能源含量及占總能源含量百分比(本研究整理)

國家	再生能源含量(1000 TJ)				再生能源含量占總能源含量百分比(%)			
	1995	2000	2005	2009	1995	2000	2005	2009
澳大利亞	72.7	85.5	108.1	125.7	1.289	1.310	1.194	1.337
奧地利	120.9	136.7	119.0	143.1	5.211	5.744	4.342	5.871
比利時	27.4	44.5	66.0	74.1	0.806	1.251	1.614	1.875
保加利亞	7.5	8.5	14.6	13.4	0.769	1.062	1.495	1.462
巴西	935.9	1084.5	1129.5	1453.3	9.210	8.826	9.006	9.709
加拿大	924.0	934.7	1025.9	1122.1	8.065	7.443	6.926	7.491
中國大陸	600.2	770.0	1264.5	2257.8	1.551	1.694	1.839	2.255
賽普勒斯	2.6	3.4	1.9	2.7	1.402	1.559	0.919	1.236
捷克共和國	14.5	18.6	21.3	30.7	0.732	0.881	0.929	1.416
德國	244.0	302.7	395.8	582.2	0.957	1.191	1.605	2.568
丹麥	17.9	26.2	36.0	37.8	1.041	1.555	1.724	1.952
西班牙	109.9	163.1	208.5	308.7	1.467	1.804	1.810	3.019
愛沙尼亞	1.1	1.7	2.3	2.2	0.435	0.594	0.692	0.806
芬蘭	45.3	52.2	57.2	55.6	2.509	2.643	2.486	2.504
法國	306.9	308.0	293.2	386.8	1.925	1.811	1.490	2.081
英國	108.4	166.4	221.4	254.2	0.784	1.029	1.171	1.784
希臘	21.4	30.1	41.9	55.2	1.004	1.159	1.362	1.734
匈牙利	11.2	15.9	17.8	21.3	0.793	1.011	0.982	1.451
印度尼西亞	172.4	314.6	445.2	646.8	3.729	6.852	6.422	7.818
印度	247.2	268.4	396.8	476.7	1.698	1.449	1.618	1.500
愛爾蘭	6.2	10.8	16.3	29.4	0.803	0.947	1.114	2.139
義大利	299.2	396.0	410.7	501.8	2.328	2.754	2.657	3.649
日本	558.5	586.1	567.6	533.8	1.341	1.388	1.355	1.473
韓國	54.3	64.8	84.6	89.9	0.501	0.516	0.587	0.663
立陶宛	3.0	4.3	5.3	6.6	0.393	0.586	0.611	0.772
盧森堡	3.6	3.7	3.4	4.4	2.209	1.747	1.317	2.035
拉脫維亞	10.0	9.9	12.4	12.7	3.675	3.733	3.195	3.920
墨西哥	274.7	330.1	367.0	344.6	3.247	3.005	2.960	2.958
馬爾他	0.6	0.8	0.8	0.9	0.630	0.780	0.686	0.989
荷蘭	40.4	55.1	64.0	74.0	0.883	1.156	1.252	1.483
波蘭	15.0	30.3	32.8	57.5	0.363	0.595	0.650	1.103
葡萄牙	35.5	51.1	39.1	79.2	2.265	2.630	1.826	4.253
羅馬尼亞	50.2	45.7	64.7	59.3	2.206	2.673	2.984	2.767
俄國	501.5	351.9	457.5	526.6	1.800	1.859	1.746	1.748
斯洛伐克	16.1	16.9	18.7	24.2	2.025	2.003	1.866	2.304
斯洛維尼亞	11.1	13.2	12.8	17.8	2.848	2.944	2.594	3.346
瑞典	211.5	257.1	231.1	230.4	6.546	7.804	6.344	7.305
土耳其	129.8	133.1	166.6	166.5	3.076	2.385	2.503	2.911
臺灣	38.2	44.3	42.1	36.9	0.805	0.754	0.722	0.717
美國	2,173.6	2,306.7	2,456.4	2,776.6	1.716	1.537	1.506	1.988

源主要為地熱、水力，以及生質能，天然條件上適合發展。同樣與臺灣缺乏天然地理條件的，還有韓國與日本，其中韓國在1995至2009年間的再生能源使用比率甚至比臺灣更低。

接著，本文利用多國投入產出模型，計算各國最終需要中，再生能源的含量，如表4所示。觀察各國最終需要的再生能源含量占總能源比率，2009年比較高的國家有奧地利、巴西、加拿大、印尼、瑞典等國，占比都超過5%。

比較表3與表4，有些國家最終需要的再生能源含量較國內生產時所用的再生能源比率來得低，主要是由於貿易的關係，國內利用再生能源生產的產品出口至其他國家消費，而國內則進口國外低再生能源含量的產品來進行消費。例如，奧地利、巴西、加拿大、印尼、瑞典等之最終需要的再生能源含量比率均比生產的再生能源使用比率低，其中奧地利及拉脫維亞於2009年時兩者間的差異更是明顯(奧地利生產時再生能源使用比率為11.029%，最終需要的商品中再生能源含量比率僅5.871%；拉脫維亞生產時再生能源使用比率為8.609%，最終需要中再生能源含量比率僅3.920%)。此外，有些國家最終需要中的再生能源含量比率較國內生

產時的再生能源使用比率高，例如比利時、韓國、盧森堡、馬爾他、荷蘭、臺灣等，不過多數國家再生能源占比提高的百分點並不高。

本文特別列出與臺灣鄰近或貿易關係依存度高的國家一併分析，此五國分別為：臺灣、韓國、中國大陸、日本及美國。圖1為五國在生產產品時所使用的再生能源占總能源比率趨勢圖。由圖中的趨勢可看出，中國大陸和美國的再生能源使用比率近幾年逐步提高，日本略為持平，而臺灣與韓國使用比率較低，且無增加趨勢。

圖2為五國最終需要商品中，於價值鏈中所有生產階段所使用的再生能源含量占總能源含量趨勢圖。相較與生產面，消費面再生能源含量比率與生產面再生能源使用比率相似，中國大陸與美國略為提高，日本趨勢持平，臺灣與韓國則比生產來得高。趨勢方面，則與生產面類似，中國大陸與美國逐漸提升，日本、韓國、臺灣持平，而臺灣與韓國於消費面時的比率均較生產面來得高。

圖3為生產面各國再生能源使用量最高的五國，巴西為各國中最高，奧地利與加拿大其次，印尼約2000年之後再生能源使用量逐年提升，近期已超越瑞典，緊追加拿大。

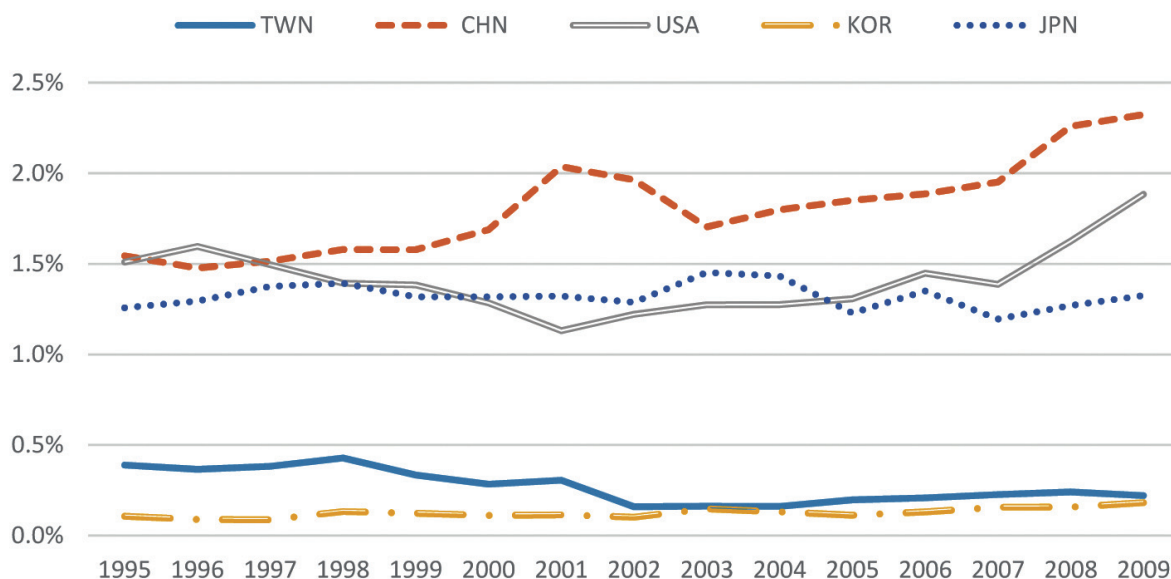


圖1 生產面再生能源使用量占總能源使用量比率趨勢圖(本研究繪製)

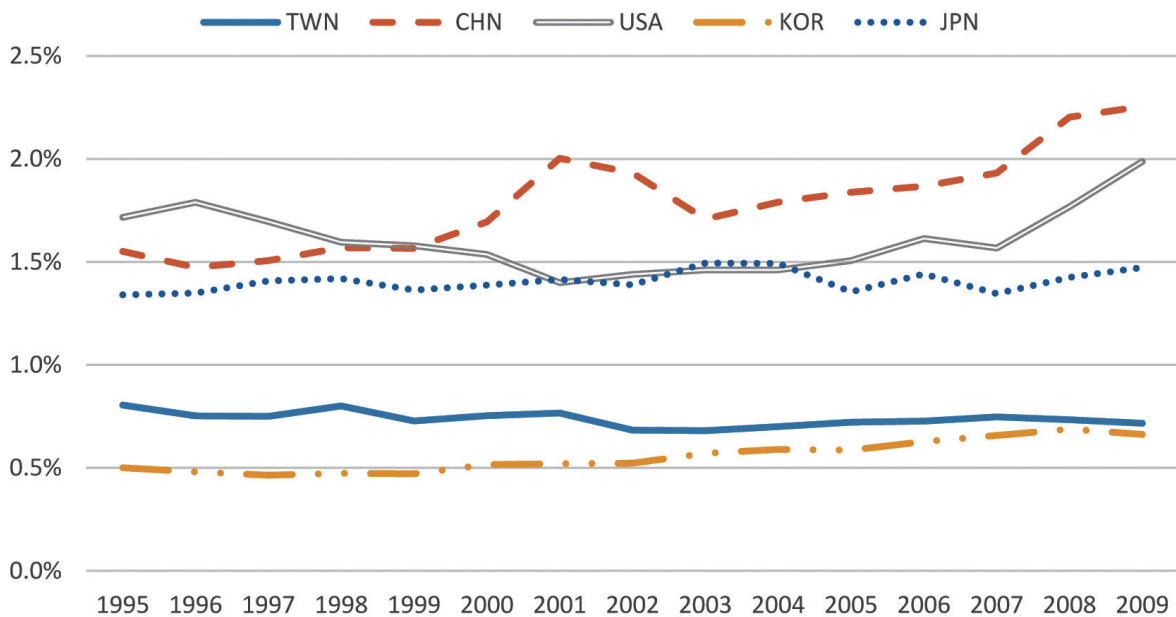


圖2 消費面再生能源含量占總能源含量比率趨勢圖(本研究繪製)

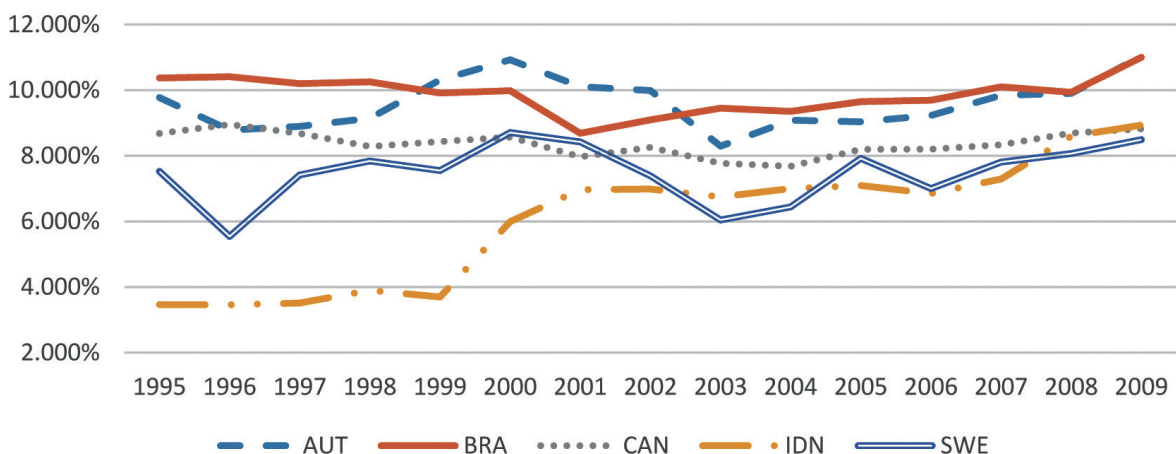


圖3 生產面再生能源使用量最高五國(本研究繪製)

圖4為消費面再生能源含量最高五國，與生產面國家相同，可能代表再生能源產品很多在國內做生產與消費，外銷佔較少的比率。至於趨勢上與生產面差別的地方在於，奧地利從第二掉到第五，其他三國加拿大、印尼、瑞典含量相近。

圖5為各國之間生產與消費面差異最大的前四國，此圖為生產大於消費的情況。由該圖可以看出，奧地利差異最大，其次為拉脫維亞、斯洛維尼亞及印尼。從圖4已看出印尼在近20年生產時大力發展再生能源使用，使得圖5從

負值攀升到約1%，增加約3%。

## 4.2 再生能源與經濟成長關聯性分析

接著，本文利用前述資料，搭配各國實質GDP、實質資本存量、勞動從業人數等資料，利用追蹤資料模型分析再生能源與經濟成長間的關係。本文所採用的資料期間為1995至2009年，其中馬爾他因有多個年度無再生能源資料，因此將馬爾他排除，而排除馬爾他之後，尚有39個國家。

本文在追蹤資料模型估計的實證步驟，

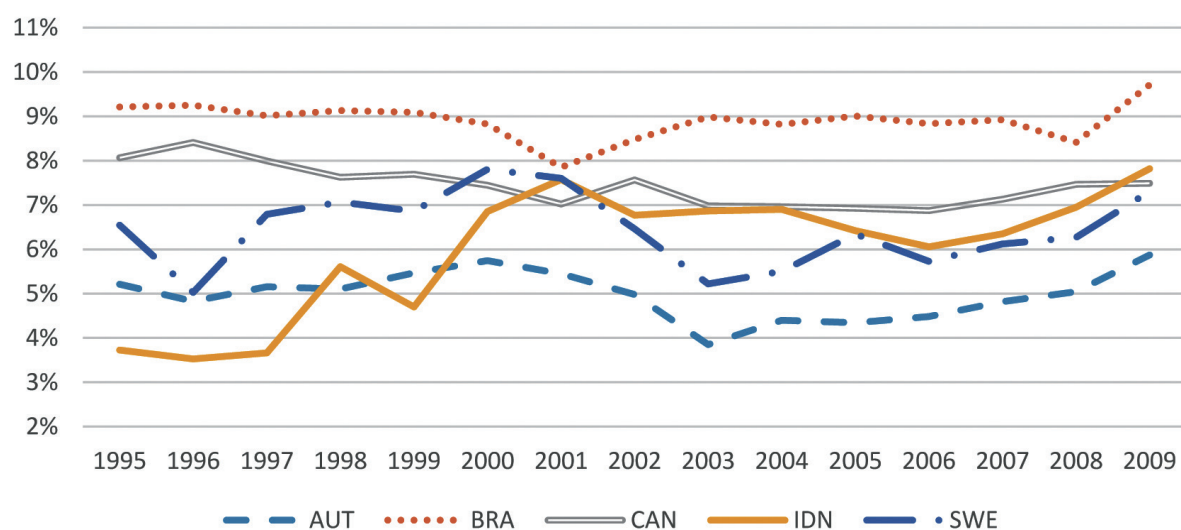


圖4 消費面再生能源含量最高五國(本研究繪製)

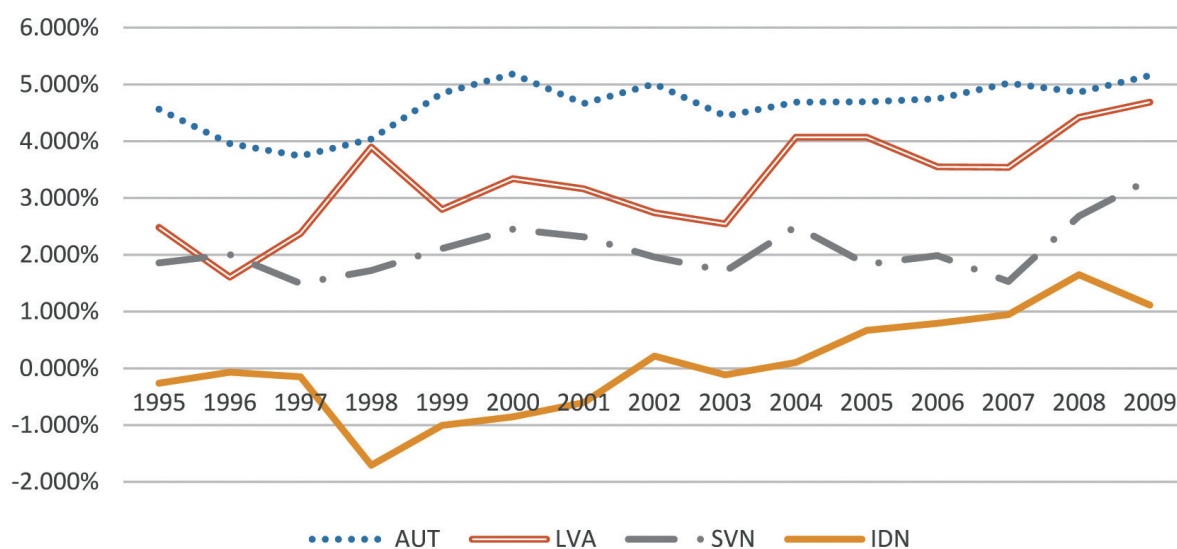


圖5 生產與消費面再生能源含量差異最高四國(本研究繪製)

主要參考Bhattacharya *et al.* (2016)，首先進行單根檢定，確認變數的整合階次後，若存在單根，則再檢定具同樣整合階次變數間是否存在共整合關係，若變數間存在共整合關係，則接著再利用panel FMOLS (Fully Modified OLS)方法估計長期整合關係式，以及以追蹤資料因果檢定模型分析變數之間是否存在因果關係。由於在本文實證的模型中，常見變數有內生性問題，而Pedroni (2000; 2001)所提出的FMOLS方法目的即在改善迴歸估計式中的內生性(endogeneity)及序列相關(serial correlation)的問題，使係數估計有意義。

題，使係數估計有意義。

變數部分，各變數代號如表5所示，其中GDP、K、L、NREP、REP均取自WIOD資料庫，而NREC及REC則利用多國投入產出模型搭配WIOD資料自行估算(如第四章第一節所示)，所有變數均取自然對數(ln)處理。

由於本文資料為40國與15年的資料，考量變數是否定態的問題，先進行單根檢定與共整合檢定。表6列出單根檢定結果，本文在單根檢定主要採用LLC (Levin, Lin and Chu)及IPS (Im, Pesaran and Shin W-stat)的panel 單根檢定。在未



表5 變數定義表(本研究整理)

變數代號	說明
GDP	實質GDP，由各國名目GDP除以GDP平減指數
K	實質資本存量
L	勞動從業人數
NREP	生產面非再生性能源使用量
REP	生產面再生能源使用量
NREC	消費面非再生性能源含量
REC	消費面再生能源含量

表6 Panel單根檢定結果(本研究整理)

	Level		一階差分	
	LLC檢定	IPS檢定	LLC檢定	IPS檢定
GDP	-4.679**	0.953	-13.176**	-1.76**
K	-0.395	7.07	-3.757**	-2.561**
L	-7.565**	-0.248	-1.639*	-3.975**
NREP	0.651	3.908	-11.188**	-6.439**
REP	0.663	3.159	-18.516**	-14.872**
NREC	-0.723	0.96	-5.804**	-6.794**
REC	-0.686	3.155	-16.1**	-13.108**

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。

差分的level值部分，雖然有一個GDP和L的LLC檢定是不存在單根的，但IPS檢定是有單根，也就是不確定是不是定態，而在一階差分時，兩個檢定法都顯示沒有單根，換言之所有變數在一階差分後都是定態數列。接著，表7列出估計模型的共整合檢定結

表7 共整合檢定結果(本研究整理)

	生產面能源使用 GDP、K、L、NREP、REP	消費面能源含量 GDP、K、L、NREC、REC
<b>Pedroni Residual Cointegration Test</b>		
Alternative hypothesis: common AR coeffs. (within-dimension)		
Panel v-Statistic	-2.13	-1.54
Panel rho-Statistic	4.09	3.39
Panel PP-Statistic	-2.85**	-3.95**
Panel ADF-Statistic	-5.16**	-4.59**
Alternative hypothesis: individual AR coeffs. (between-dimension)		
Group rho-Statistic	7.3	6.35
Group PP-Statistic	-2.68**	-4.28**
Group ADF-Statistic	-4.6**	-4.95**
<b>Kao Residual Cointegration Test</b>		
ADF	-4.93**	-4.81**

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。

果，其中包含(11)式生產面的能源使用量估計，以及(12)式消費面能源含量的估計式。表中Pedroni Residual Cointegration Test有7個檢定方式，其中有4個是有共整合，3個沒有共整合，我們再多做一個Kao Residual Cointegration Test，結果是有共整合，因此，本文判定兩個模型的變數間均存在共整合關係。

在因果檢定的部分，本文主要參考Apergis and Payne (2010)的做法，首先利用panel FMOLS估計長期彈性，接著利用panel ECM (error

correction model)模型評估各變數間的因果關係。表8為生產面長期彈性估計結果及能源使用與經濟成長的因果檢定。表中因果檢定的部分，ECM係指誤差修正項，從檢定結果來看，能源與再生能源的使用對GDP沒有顯著影響，非再生性能源的使用會受GDP正向的影響，但再生能源的使用則不受GDP的影響。

表9為消費面長期彈性估計結果及能源含量與經濟成長的因果檢定。從表中估計結果來看，GDP不受最終需要中非再生性能源及再生

表8 Panel FMOLS長期彈性估計及因果檢定結果：生產面能源使用(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.795*K + 0.043*L + 0.365*NREP + 0.006*REP					
	(19.189**)	(0.461)	(6.671**)	(0.370)	
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREP_t$	$\Delta REP_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.6622**	0.1345**	0.0717*	<b>0.1836**</b>	<b>-0.0737</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.1307*	0.6743**	-0.0953*	-0.1443	0.4094
$\Delta L_{t-1}$	-0.127*	-0.012	0.3678**	0.0614	0.2633
$\Delta NREP_{t-1}$	<b>-0.0034</b>	-0.0047	0.0604**	0.1515**	0.5799**
$\Delta REP_{t-1}$	<b>-0.0067</b>	-0.0049	0.0062	-0.0091	-0.0665
C	0.0159**	0.0063**	0.0059**	0.0054	0.0401**
ECM <sub>t-1</sub>	-0.0681**	0.042**	0.0009	0.1172**	-0.118

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。

表9 Panel FMOLS長期彈性估計及因果檢定結果：最終消費能源含量(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.790*K + 0.746*L + 0.136*NREC + 0.015*REC					
	(19.57**)	(14.83**)	(8.61**)	(1.42)	
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREC_t$	$\Delta REC_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.6349**	0.1938**	0.0992**	<b>0.7011**</b>	<b>0.4097*</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.1885**	0.6831**	-0.1303**	-0.3651**	-0.0612
$\Delta L_{t-1}$	-0.1642**	-0.0167	0.3288**	-0.0439	-0.1494
$\Delta NREC_{t-1}$	<b>0.0087</b>	-0.0341**	0.0148	-0.1365**	0.1055
$\Delta REC_{t-1}$	<b>-0.0191</b>	-0.0059	-0.0016	0.0038	-0.1205**
C	0.0194**	0.0049**	0.0077**	0.0082	0.0348**
ECM <sub>t-1</sub>	-0.0001**	-0.0001	-0.0002**	-0.0002*	-0.0003

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。

能源含量的影響，而最終需要中的非再生性能源含量會受GDP之正向影響，且最終需要中的再生能源含量會亦受GDP之正向影響。

這樣的估計結果，與過往研究的發現各有異同處。Azam *et al.* (2015)發現印尼及馬來西亞，再生能源消費與經濟發展沒有顯著的關係，這與本文研究從生產面來看的結果一致，但同時Azam *et al.* (2015)亦發現泰國及菲律賓會從固定資本形成，進而影響再生能源消費，然而由臺灣的結果來看，不論生產面或消費面，資本存量與再生能源消費的關係均不顯著。會有這樣的差異部分與Azam *et al.* (2015)採用的變數為固定資本形成，而本文採用的為實質固定資本存量有關。

另外，Apergis and Payne (2011)認為經濟成長、再生能源消費、固定資本和勞動力總量從短期和長期來看都會有顯著的正向關係，並且達到一個平衡。本文不論從生產面或從消費面來看，經濟成長與再生能源兩者之間都存在長期均衡且正向的關係，但從短期來看，生產面的部分，非再生性能源及再生能源對GDP的影響都不顯著，但GDP對非再生性能源有正向影響，對再生能源之影響則不顯著；若從消費面來看，非再生性能源與再生能源仍舊對GDP沒

有顯著影響，但GDP對非再生性能源與再生能源的消費都有顯著的正向影響，此與Sadorsky (2009)發現人均收入增加會帶來再生能源消費的成長類似。若再進一步檢視再生能源與資本間的關係，不論在生產面或消費面，兩者間的關係都不顯著。

這樣的結果隱含，隨所得提高，一般而言民眾的環保意識也會較高，因此較樂於消費含再生能源較高的商品，然而再生能源的消費卻不會帶動經濟成長，這樣的結果與本文的樣本國家多為歐盟已開發國家有關，也間接支持環境顧志耐曲線理論，當經濟成長到達一定階段後，環保意識的提升會增加對低污染商品的需求，進而降低環境的污染。此外，研究結果也顯示，若僅只是將再生能源作為能源投入生產，那麼對經濟成長將不具貢獻，因為再生能源的投入或消費，都不會引發資本存量的增加。惟若在使用再生能源的同時，發展再生能源技術，促使投資增加，則也將進一步帶動經濟成長。

本文進一步將國家別以IMF (2018)依發展程度區分為先進國家及開發中國家兩組，並對此兩組資料分別估計，並將先進國家之估計結果整理如表10及表11，開發中國家之估計結果

表10 Panel FMOLS先進國家因果檢定結果：生產面能源使用(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.7747*K + 0.204*L + 0.0585*NREP - 0.0014*REP					
(21.218**) (0.241**) (0.992) (-0.115)					
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREC_t$	$\Delta REC_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.9193**	0.258**	0.2869**	<b>0.1386</b>	<b>0.4562</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.201**	0.589**	-0.2197**	-0.075	0.2878
$\Delta L_{t-1}$	-0.2376**	-0.1101	0.5079**	0.05	0.3353
$\Delta NREC_{t-1}$	<b>-0.0381</b>	-0.0104	0.0477**	0.0559	0.6146**
$\Delta REC_{t-1}$	<b>-0.0059</b>	-0.0059	0.0052	-0.0142	-0.0795
C	0.0104**	0.0066**	0.002	0.0052	0.0329
$ECM_{t-1}$	-0.0829**	0.0746**	0.0095	0.0481	-0.1767

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。

表11 Panel FMOLS先進國家因果檢定結果：最終消費能源含量(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.7191*K + 0.7494*L + 0.074*NREC + 0.0288*REC					
	(14.159**)	(15.771**)	(3.739**)	(2.426**)	
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREC_t$	$\Delta REC_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.8828**	0.3226**	0.3266**	<b>0.8169**</b>	<b>0.8401**</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.2734**	0.5715**	-0.2799**	-0.3065	-0.0557
$\Delta L_{t-1}$	-0.3599**	-0.0585	0.4777**	-0.0964	-0.3386
$\Delta NREC_{t-1}$	<b>0.0466*</b>	-0.05**	0.0167	-0.1133*	0.1166
$\Delta REC_{t-1}$	<b>-0.0227**</b>	-0.009	-0.0082	-0.0157	-0.1712**
C	0.0145**	0.0059**	0.0042**	0.0018	0.0243*
ECM <sub>t-1</sub>	-0.0002**	-0.0001**	-0.0002**	-0.0003	-0.0004

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。

整理如表12及表13。從表10可發現，在先進國家，以生產面角度來看，再生能源與非再生性能源的使用與GDP之間都沒有雙向因果關係，若改以消費面來看，如表11所示，最終需要中的再生能源與GDP之間存在雙向因果關係，且非再生性能源含量亦與GDP之間存在雙向因果關係，其中，非再生性能源的含量對經濟成長有正向的影響，然而再生能源的含量對經濟成長則存在負面的影響。此一結果顯示，由於本文研究期間再生能的成本仍較化石能源高出許

多，因此最終財中的再生能源含量愈高反而對經濟成長有負向的影響。

在開發中國家的部分，表12中顯示生產面的非再生性能源使用對GDP有正向影響，但經濟成長對非再生能源沒有影響，而再生能源與經濟成長間沒有因果關係；接著，再進一步以消費面的能源含量來看，如表13所示，非再生性能源及再生能源的含量對經濟成長都沒有顯著影響，而經濟成長對非再生性能源含量有正向影響，對再生能源則無顯著影響。

表12 Panel FMOLS開發中國家因果檢定結果：生產面能源使用(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.8519*K + 0.0458*L + 0.3225*NREP + 0.1719*REP					
	(8.301**)	(0.240)	(2.690**)	(2.719**)	
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREC_t$	$\Delta REC_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.3587**	0.0495*	-0.1235	<b>0.1011</b>	<b>-0.38</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.0377	0.8432**	-0.0304	-0.0956	-0.3459
$\Delta L_{t-1}$	0.0007	0.0261	0.1326	0.2449*	-0.1395
$\Delta NREC_{t-1}$	<b>0.2581**</b>	0.0154	0.1094	0.4994**	0.4185
$\Delta REC_{t-1}$	<b>-0.0166</b>	0.0013	0.011	0.0149	0.0759
C	0.0232**	0.0031*	0.0119**	0.0023	0.0562**
ECM <sub>t-1</sub>	-0.1505**	-0.0059	-0.01	0.0202	0.3137*

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。



表13 Panel FMOLS開發中國家因果檢定結果：最終消費能源含量(本研究整理)

FMOLS長期彈性估計結果					
GDP = 0.9966*K + 0.734*L + 0.316*NREC - 0.0269*REC					
(17.86**) (5.268**) (14.081**) (-1.348)					
Panel 因果檢定估計結果					
	$\Delta GDP_t$	$\Delta K_t$	$\Delta L_t$	$\Delta NREC_t$	$\Delta REC_t$
$\Delta GDP_{t-1}$	0.4421**	0.0354	-0.1056	<b>0.4717**</b>	<b>-0.3347</b>
$\Delta K_{t-1}$	-0.1182	0.8473**	-0.0438	-0.0267	0.1724
$\Delta L_{t-1}$	-0.0682	0.0297	0.0948	0.0757	-0.0797
$\Delta NREC_{t-1}$	<b>0.0067</b>	0.0148	0.0255	-0.0709	0.1857
$\Delta REC_{t-1}$	<b>-0.0096</b>	0.0009	0.016	0.0053	0.0405
C	0.0266**	0.0034**	0.0128**	-0.0021	0.0437**
ECM <sub>t-1</sub>	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0002	0.0006

註：\*代表在10%顯著水準下為顯著，\*\*代表在5%顯著水準下為顯著。ECM參數為誤差修正項參數(error correction term)。

在將國家區分為先進國家及開發中國家之後，在開發中國家部分，若以生產面來看，再生能源及非再生性能源與經濟成長間並沒有顯著因果關係，但若以消費面來看，卻發現經濟成長仍會刺激兩種能源的使用，且雖然非再生性能源對經濟成長為正向影響，再生能源對經濟成長卻存在負向影響，此與Sadorsky (2009)、Apergis and Payne (2012)及Giray *et al.* (2018)的發現不同，本研究發現，國家依其發展程度不同，能源與經濟成長間的關係也會改變。在以消費面的角度檢視能源與經濟成長間的關係時，先進國家的非再生性能源含量對經濟成長有正向的影響，代表先進國家的經濟成長動能仍然非常仰賴化石能源，過度的能源節約可能會減緩經濟成長，因此，能源政策更應著重於能源使用效率的提升，而非單純的節約能源。此外，先進國的再生能源含量對經濟成長有負向影響，更能符合1995-2009年間的再生能源成本大幅度高於非再生性能源的情況。

## 5. 結 論

能源消費與經濟成長一向密不可分，然而在發展再生能源的同時，再生能源是否也如傳

統能源般與經濟成長密不可分，甚或帶動經濟成長？本文利用多國投入產出模型，並搭配使用歐盟所編製的世界投入產出表，以及環境、社會經濟資料，估計各國生產過程及最終需要中的再生能源含量，以進一步瞭解各國再生能源使用是否與其經濟成長間存在一定的關聯性。

計量實證上，本文利用追蹤資料因果檢定檢驗再生能源消費與經濟成長間的關聯性。根據本文的實證結果可以發現，生產階段中使用較高比例再生能源的國家，在全球化下，其所生產的產品許多都出口至他國再進行加工生產或消費，而國內的消費亦有相當比例從其他低再生能源使用率的國家進口消費，亦即其所消費的最終財內含的再生能源比例較國內生產來得低。

此外，在檢視能源與經濟成長間的關係時，應將國家依開發程度加以區分。以生產面來看，不論在先進國家或開發中國家，生產時的非再生性能源及再生能源使用與對經濟成長間的因果關係不明顯，僅在開發中國家，非再生性能源的使用會刺激經濟成長；若改以消費面來看，在先進國家中，不論再生能源及非再生性能源的含量與經濟成長的關係皆密不可

分，然而其中由於在1995-2009年間再生能源成本大幅高於非再生性能源，因此再生能源含量對經濟成長存在負向影響。在開發中國家，再生能源與經濟成長間則無關係，主要乃由於開發中國家不論生產或消費，其所使用的再生能源比例均較先進國家來得低，非再生性能源的含量對經濟有顯著的正向影響。

然而若進一步檢視再生能源與資本存量的關係，兩者不論在生產面及消費面均不顯著，意指產業在生產過程中，雖願意多使用再生能源，然而卻僅止於將其做為能源來使用，若在使用再生能源的同時，也可以提高資本投入，刺激資本存量增加，則發展再生能源將可間接刺激經濟成長。實務上，若能對產品中的再生能源含量加以認證，或許可吸引更多消費者願意以環境保護的意識進行消費，而政府、廠商也較願意購買再生能源含量高之資本設備，如此便可持續支持再生能源產業的發展。

## 參考文獻

- 阮霸安海，2014。經濟發展、能源消費與二氧化碳排放量：國際投入產出結構分解分析，中原大學國際經營與貿易學系，碩士論文。
- 林幸君與王智薇，1995。我國新能源產業之產業關聯分析，我國新能源之發展契機，55-61。
- 林師模、楊皓荃與林晉昺，2017。國際碳排放責任分擔之跨國比較分析，應用經濟論叢，67-107。
- 林晉昺、林晏如與林師模，2017。由多邊附加價值貿易分析兩岸貿易關係之演變，臺灣經濟預測與政策，42，37-77。
- 邱珮冠與吳珮瑛，2004。再生能源的發展-以美國再生能源為例，全球變遷通訊雜誌，28-32。
- 張新橋，2013。中國出口貿易碳排放足跡計量研究，華北電力大學，碩士論文。
- Apergis, N. and J.E. Payne, 2010. "Renewable energy consumption and growth in Eurasia," *Energy Economics*, 32 (6), 1392-1397.
- Apergis, N. and J.E. Payne, 2011. "The renewable energy consumption-growth nexus in Central America," *Applied Energy*, 88 (1), 343-347.
- Apergis, N. and J.E. Payne, 2012. "Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model," *Energy Economics*, 34(3), 733-738.
- Azam, M., A.Q. Khan, B. Bakhtyar and C. Emirullah, 2015. "The causal relationship between energy consumption and economic growth in the ASEAN-5 countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 732-745.
- Bhattacharya, M., S.R. Paramati and I. Ozturk, 2016. "The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries," *Applied Energy*, 162 (15), 733-741.
- Chen, G. Q., X. D. Wu, Jinlan Guo, Jing Meng and Chaohui Li, 2019. "Global overview for energy use of the world economy: Household-consumption-based accounting based on the world input-output database (WIOD)," *Energy Economics*, 81, 835-847.
- Chen, Shaoqing and Bin Chen, 2015. "Urban energy consumption: Different insights from energy flow analysis, input-output analysis and ecological network analysis," *Applied Energy*, 138, 99-107.
- Cortés-Borda, D., G. Guillén-Gosálbez and L. Jiménez, 2015a. "Assessment of nuclear energy embodied in international trade following a world multi-regional input-output approach," *Energy*, 91, 91-101.
- Cortés-Borda, D., G. Guillén-Gosálbez and L. Jiménez, 2015b. "Solar energy embodied

- in international trade of goods and services: A multi-regional input–output approach,” *Energy*, 82, 578-588.
- Cui, Lian-Bia, Pan Peng and Lei Zhu, 2015. “Embodied energy, export policy adjustment and China's sustainable development: A multi-regional input-output analysis,” *Energy*, 82, 457-467.
- Gasim, A. A., 2015. “The embodied energy in trade: What role does specialization play?” *Energy Policy*, 86, 186-197.
- Giray, G., K. Chi and L. Zhou, 2018. “Energy consumption and economic growth: New evidence from the OECD countries,” *Energy*, 153(15), 27-34.
- Heijungs R. and S. Suh, 2002. “The basic model for inventory analysis,” In: *The Computational Structure of Life Cycle Assessment. Eco-Efficiency in Industry and Science*, vol 11. Springer, Dordrecht, 11-31.
- IMF, 2018. *World Economic Outlook: Challenges to Steady Growth*. International Monetary Fund.
- Jiang, Xuemei and Dabo Guan, 2016. “Determinants of global CO<sub>2</sub> emissions growth,” *Applied Energy*, 184, 1132-1141.
- Liu, Bin, Dedong Wang, Youquan Xu, Chunlu Liu and Mark Luther, 2018. “A multi-regional input–output analysis of energy embodied in international trade of construction goods and services,” *Journal of Cleaner Production*, 201, 439-451.
- Miller, R.E. and P.D. Blair, 2009. “Input-output analysis: Foundations and extensions,” Cambridge University Press, Cambridge.
- Pedroni, Peter, 2000. “Fully Modified OLS for Heterogeneous Cointegrated Panels,” *Advances in Econometrics*, 15, 93-130.
- Pedroni, Peter, 2001. “Purchasing Power Parity Tests in Cointegrated Panels,” *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 727-731.
- Rocco, M. V. and E. Colombo, 2016. “Evaluating energy embodied in national products through Input-Output analysis: Theoretical definition and practical application of international trades treatment methods,” *Journal of Cleaner Production*, 139, 1449-1462.
- Duarte, Rosa, Vicente Pinilla and Ana Serrano, 2018. “Factors driving embodied carbon in international trade: a multiregional input–output gravity model,” *Economic Systems Research*, 30(4), 545-566.
- Sadorsky, P., 2009. “Renewable energy consumption and income in emerging economies,” *Energy Policy*, 37(10), 4021-4028.
- Shahbaz, M., N. Loganathan, M. Zeshan and K. Zaman, 2015. “Does renewable energy consumption add in economic growth? An Application of autoregressive distributed lag model in Pakistan,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 576-585.
- Suh, S. and G. Huppes, 2005. “Methods for life cycle inventory of a product,” *Journal of Cleaner Production*, 13(7), 687-697.
- Suh, S. and S. Kagawa, 2005. “Industrial ecology and input-output economics: An introduction,” *Economic Systems Research*, 17(4), 349-364.
- Tao, Feng, Zhou Xu, Adrew A. Duncan, Xiaohua Xia, Xiaofang Wu and Jinyi Li, 2018. “Driving forces of energy embodied in China-EU manufacturing trade from 1995 to 2011,” *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 324-334.
- Zhang, Qian, Jun Nakatani and Yuichi Moriguchi, 2015. “Compilation of an Embodied CO<sub>2</sub> Emission Inventory for China Using 135-Sector Input-Output Tables,” *Sustainability*,

- 7(7), 8223-8239.
- Zhong, Sheng, 2009. "Structural decompositions of energy consumption between 1995 and 2009: Evidence from WIOD," *Energy Policy*, 122, 655-667.



# Renewable Energy Consumption-Income Nexus under Value Added Trade

Jin-Xu Lin<sup>1</sup>   Cheng-Yeng Yeh<sup>2</sup>   Kuei-Feng Chang<sup>3</sup>   Shih-Mo Lin<sup>4\*</sup>

## ABSTRACT

This study constructs a multi-country input-output model based on the 1995-2009 World Input-Output Tables compiled by the European Union, together with energy account data, to estimate the renewable energy embodied in the final demand of all 40 countries or areas in the tables. These estimates together with other socio-economic accounts are then used to estimate a panel data causality model to test the relationship between renewable energy consumption and economic growth. For renewable energy consumption, two estimates are used in the estimation of the panel data model. The first estimate is the direct renewable energy inputs for domestic industrial production. The second estimate is the embodied renewable energy in the final demand of a specific country. Our estimation results and the causality analysis from the panel data model indicate that, for developed countries, both the non-renewable and renewable energy inputs associated with domestic production do not exhibit causal relationship with economic growth. However, non-renewable energy embodied in final demand does have a two-way causal relationship with economic growth. Furthermore, economic growth will push up developed countries' demand for renewable energy directly and indirectly. These results partially support the argument of environmental Kuznets curve theory that, environmental consciousness will grow following economic development up to a point to increase the demand for low-pollution energy and, eventually, improve the quality of the environment.

**Keywords:** Renewable energy, value-added trade, economic growth, multi-country input-output model.

---

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of International Business, Chung Yuan Christian University.

<sup>2</sup> Master, Department of International Business, Chung Yuan Christian University.

<sup>3</sup> Ph.D. candidate, Ph.D. Program in Business, Chung Yuan Christian University.

<sup>4</sup> Professor, Department of International Business, Chung Yuan Christian University.

\* Corresponding Author, E-mail: [shihmo@cycu.edu.tw](mailto:shihmo@cycu.edu.tw); [shihmolin@gmail.com](mailto:shihmolin@gmail.com)

Received Date: August 19, 2019

Revised Date: November 4, 2019

Accepted Date: November 22, 2019