

區域經濟成長與環境品質： 臺灣降尺度環境願志耐曲線假說之實證分析

李叢禎*、林冠瑛**、王宜甲***

環境願志耐曲線（environmental Kuznets curve，以下簡稱 EKC）假說為探討環境污染是否會隨著經濟成長而呈現先遞增爾後遞減之趨勢，惟現有研究多著重於國家尺度研究，對於一國境內各區域之實證結果進行差異比較分析者為數不多。有鑑於地區性空氣污染物受區域產業發展及氣候與地理條件等因素影響甚鉅，而國家尺度僅能呈現全國平均結果，無法揭露各區域之極端差異，為填補此一文獻落差，本文旨在探究臺灣各區域 EKC 假說的實證結果差異。我們依據「都市及區域發展統計彙編」，將臺灣劃分為北、中、南、東四大區域，進行各區域 PM₁₀ 濃度及所得兩者關係之 EKC 假說驗證，並納入小客車數、第二級產業勞動與用地面積、降雨天數作為其他解釋變數。實證結果顯示，臺灣整體及四大區域之 EKC 假說實證結果有相當大的差異，且影響各區域之 PM₁₀ 濃度的因素不甚相同，職是之故，有效的區域空氣污染防治措施需根據區域產業經濟發展狀況以及氣候與地理條件因地制宜，以期達成區域經濟發展與污染脫鉤之目標。

關鍵詞：環境願志耐曲線、降尺度分析、區域尺度、空氣污染、追蹤資料

* 通訊作者：國立臺北大學經濟學系教授。地址：23741 新北市三峽區大學路 151 號，
E-mail: tclee@gm.ntpu.edu.tw。

** 國立臺北大學經濟學系碩士。

*** 國立臺北大學經濟學系副教授。

作者感謝期刊主編、特刊主編及匿名審查委員之寶貴意見，使本文更臻完善，然本文所有文責仍由作者自負。

投稿日期：2019 年 1 月 22 日；修改日期：2019 年 6 月 2 日；接受日期：2019 年 6 月 17 日。

農業經濟叢刊(Taiwanese Agricultural Economic Review), 25:1(2019), 69-104。

臺灣農村經濟學會出版

I、前言

經濟成長是否必須建立在犧牲環境品質的前提之下？這個議題自 1970 年代以來日漸受到重視，相關學理討論與實證證據如雨後春筍般地出現，其中備受矚目者之一係「環境顧志耐曲線」(environmental Kuznets curve，以下簡稱 EKC) 假說。EKC 假說主張環境污染與人均所得呈現倒 U 型之關係，亦即隨人均所得水準上升，環境污染會呈現先遞增而後遞減之趨勢，此假說之實證驗證先驅為 Grossman and Krueger (1991)，爾後實證文獻有支持 EKC 假說者 (例：Panayotou, 1993；Markandya, Golub, & Pedroso-Galinato, 2006；Ubaidillah, 2011；Bölük & Mert, 2014)，亦有不支持 EKC 假說者 (例：Roca, Padilla, Farré, & Galletto, 2001；Friedl & Getzner, 2003；Akbostancı, Türüt-Asık, & İpek Tunc, 2009；Olusegun, 2009；Saboori, Sulaiman, & Mohd, 2012；Al-Mulali, Saboori, & Ozturk, 2014；Taghvaei & Parsa, 2015)，另有研究主張 EKC 假說成立與否取決於各實證分析的資料選取及模型設定 (Dinda, 2004)。

綜觀現有文獻，EKC 假說之相關研究可大抵區分為國家尺度與區域尺度兩大範疇。其中國家尺度之研究多採用二氧化碳 (CO₂) 作為研究標的，探討其與經濟成長之間的關係是否符合 EKC 假說，計量分析主要採用跨國橫斷面資料、追蹤資料 (panel data)、單一國家時間序列資料等 (詳細文獻介紹請參見第二節)。反之，目前國際間相關文獻以單一／個別區域資料進行分析者相對較少 (List & Gallet, 1999；Lin, Zeng, Fang, & Xu, 2012；Luo et al., 2014)。臺灣 EKC 實證分析亦然，包括 Hung and Shaw (2004)、鄭睿合 (2008)、王淑美、胡均立與謝承憲 (2010)、葉如芸 (2011) 等，皆未針對單一／個別區域進行降尺度分析。

然而，以國家尺度資料進行 EKC 假說之實證研究，僅能呈現出全國平

均結果，無法充分揭露各區域之極端差異；復以區域內環境污染受其產業發展及氣候與地理條件等因素影響甚鉅，尤其各都市間污染情況存在顯著差異，因之須針對「降尺度」(downscaled) 個別空間單位進行探討，才能確實了解污染物與經濟成長之間的關係 (Park & Lee, 2011)。而此一降尺度 EKC 假說之實證分析結果，可提供決策支援訊息，俾利區域經濟與境保護政策之研擬。

基於上述，本文旨在填補現有文獻落差，針對臺灣個別區域進行降尺度 EKC 實證驗證分析。有鑑於空氣污染是當前臺灣各縣市共同關切之環境議題，復以各縣市空氣品質良窳與地區污染源密切相關，呈現跨區域差異，因之本研究以空氣污染作為研究標的。具體而言，本研究彙整 1994 年至 2014 年間臺灣 22 個縣市之空氣污染物濃度、實質人均所得、移動污染源及固定污染源資料，並依國家發展委員會所公布之「都市及區域發展統計彙編」，將臺灣劃分為北、中、南、東四大區域，探討四大區域的經濟成長對於空氣污染物濃度之影響，以及導致各區域間差異的因素，並據以探討各區域未來空氣污染物減量之可行政策方向 (註 1)。

在研究方法上，有鑑於 EKC 實證研究中常有內生性以及遺漏重要解釋變數的情況 (Lin & Liscow, 2013)，因而導致推估結果偏誤，因之在本研究中，我們使用了通過適合性檢定的工具變數，在追蹤資料的固定效果模型下，修正了前述兩種推估結果可能偏誤的情況，是為本文在 EKC 研究的計量方法上所做出的貢獻。

本文第一節為前言，第二節為文獻回顧，係依國家尺度及區域尺度兩大範疇綜整目前 EKC 相關文獻，第三節介紹本研究採用方法及資料，第四節呈現迴歸結果，並分析臺灣各區域所得水準對於空氣污染物濃度之影響，最後一節為本文的結論與建議。

II、EKC 之相關文獻回顧

EKC 的概念源自於顧志耐 (Kuznets) 於 1955 年提出的顧志耐曲線 (Kuznets curve)，其主張所得與環境污染兩者間之倒 U 型關係，亦即在經濟成長之初期階段，環境污染會隨所得增加而上升，當人民所得達到某一水準後，環境品質議題開始受到關注，並進行必要之污染減量與產業結構調整，促使環境污染與所得呈反向關係。早期囿於環境工程技術之限制，污染物資取得不易，EKC 的相關研究發展進程緩慢，直至 1980 年代，隨著全球各國環境監測系統陸續建置，相關實證分析隨之驟增 (Dinda, 2004)。本節旨在回顧 EKC 相關文獻，我們依據這些研究是否以單一／個別區域資料進行分析，將之區分為跨國／國家尺度以及降尺度／區域尺度兩大類，其中跨國／國家尺度之研究，主要包括針對 CO₂ 進行 EKC 實證分析者，以及以地區性污染物為研究對象，但利用國家各地區追蹤資料形式來檢視 EKC 假說是否成立者。至於以單一／個別地區 (降尺度) 資料分別進行迴歸分析者，才歸類於降尺度／地區尺度之文獻中。關於此二類文獻之發展，分述於 2.1 與 2.2 小節，並整理如附錄。

2.1 跨國／國家尺度之 EKC 相關文獻

跨國／國家尺度之 EKC 相關文獻整理於附錄附表 1，根據表中資訊，早期或是開發中國家研究，囿於資料限制，多以跨國資料從事分析 (例如：Holtz-Eakin & Selden, 1995；Harbaugh, Levinson, & Wilson, 2002；Martínez-Zarzoso & Bengochea-Morancho, 2004；Ojewumi, 2016)。然而採用跨國資料來進行 EKC 假說之實證分析，並未考量到各個國家之特定事件對經濟所造成之影響，因此較難提供國家經濟發展及環境政策之參考訊息 (Friedl &

Getzner, 2003 ; Saboori et al., 2012)，是故近期研究多以單一國家為研究範疇（例如：Friedl & Getzner, 2003 ; Akbostancı et al., 2009 ; Ubaidillah, 2011 ; Saboori et al., 2012 ; Taghvaei & Parsa, 2015)。

根據附表 1 彙整之文獻可知，採用單一國家資料進行研究者，大多以 CO₂ 為標的污染物，僅有少數研究以地區性空氣污染物為研究對象，其中一例為 Park and Lee (2011)，該文以南韓 16 個都市 1990 至 2005 年追蹤資料進行全國 EKC 實證分析。結果顯示 SO₂、CO 及 NO₂ 與所得之間分別呈現 N 型、U 型與 U 型之關係，證實不同污染物之 EKC 實證結果存在差異，因此相關政策之擬定應視污染物之特性而定。此外，各都市間之 SO₂ 及 NO₂ 污染情況亦存在差異，故建議應另行對各都市分別進行研究，以了解區域污染物與經濟成長之間的關係。

在臺灣相關文獻方面，Hung and Shaw (2004) 採用追蹤資料形式並以聯立方程式模型 (simultaneity model) 進行分析。該文推估結果顯示，NO₂ 及 CO 之濃度會隨人均所得增加而呈現倒 U 型曲線，符合 EKC 假說。主要原因在於 1990 年臺灣政府強制執行新車必須加裝觸媒轉化器 (catalytic converter) 之政策，使交通部門所產生之兩大污染物 NO₂ 及 CO 排放量大幅降低。

鄭睿合 (2008) 以臺灣、日本及韓國 1971 至 2005 年之 CO₂ 排放密集度與人均 GDP，配合各國之能源結構、產業結構、能源生產力、貿易效果及國際油價資料，進行迴歸分析，並比較三國之實證結果。根據該文結論，日本 CO₂ 排放密集度隨著人均 GDP 上升而遞減，而臺灣及韓國之 CO₂ 排放密集度則是與人均 GDP 呈現 U 型關係，均不符合 EKC 假說。此結果隱含臺灣與韓國 CO₂ 減量不易，惟兩者的解釋原因不同，臺灣係因高碳能源比重高、偏重燃煤發電、電價低、能源生產力低及出口導向政策；韓國則是由於產業結構以高耗能工業為主，加上電價低及出口導向政策所致。

王淑美等 (2010) 採用臺灣 22 個縣市追蹤資料，進行 2001 年至 2008

年臺灣地區之 EKC 假說實證分析，並探討移動污染源與空氣品質之間的關係。該文估計結果顯示，SO_x、NO_x 及 CO 三種空氣污染物與所得之間的關係，符合 EKC 假說主張，且除了所得外，機車數量亦顯著影響 SO_x 排放，客車數則主要影響 NO_x 之排放，易言之，移動污染源亦是影響空氣污染的主要因素。

葉如芸 (2011) 以 Engle-Granger 兩階段共整合之長期模型，及轉換自 ARDL 之誤差修正模型，進行 1998 年 1 月至 2010 年 5 月間臺灣地區 EKC 實證研究。該文發現臺灣地區空氣污染與經濟成長兩者間之關係，不滿足 EKC 假說主張，NO₂ 會隨著所得增加而上升，PM₁₀ 及 O₃ 則不隨所得變化而有顯著改變，反之，雨量與污染物的落遲項才是影響空氣污染的主要因素。

綜上所述，目前國家尺度之 EKC 研究，多以 CO₂ 為標的污染物進行實證分析，然而實證結果大多不符合 EKC 假說，主要係因 CO₂ 排放來自於化石燃料燃燒，而化石燃料使用為支持各國經濟發展的主要驅動力，減量成本相對較高，又 CO₂ 排放為全球性空氣污染物，單一國家或地方政府缺乏減少排放量之誘因 (Yaguchi, Sonobe, & Otsuka, 2007)，是故探討 CO₂ 與經濟成長兩者間關係之 EKC 研究，多獲致單調遞增或是 N 型的結論。除了 CO₂ 外，亦有文獻利用城市／區域尺度之空氣污染物資料，以跨國 (Grossman & Krueger, 1991; Panayotou, 1993) 或國家尺度 (例：Hung & Shaw, 2004; Park & Lee, 2011) 之追蹤資料形式，進行 EKC 實證分析。然而，這些研究僅呈現跨國或全國平均之結果，對於個別區域環境保護或是產業政策之研擬，能提供的決策訊息較為有限，是故 Park and Lee (2011) 與 Luo et al. (2014) 特別強調個別區域獨立分析之必要性。下一小節將彙整地區尺度之 EKC 相關文獻，以期更深入了解 EKC 假說如何因區域特性而呈現差異。

2.2 降尺度／區域尺度之 EKC 相關文獻

區域性污染物 (如：懸浮微粒與水污染等) 受到地形與地理位置、氣候

條件等限制，影響範圍較小，因此，以降尺度／區域尺度作為研究範疇之 EKC 相關文獻，多以地區性污染物之研究為主（見附表 2），諸如 List and Gallet（1999）、Lin et al.（2012）及 Luo et al.（2014）等，均以地區尺度資料進行 EKC 實證分析，探討各區域環境污染與經濟成長兩者間之關係。

List and Gallet（1999）以美國為例，利用 1929 年至 1994 年國家及州尺度資料，探討 SO_2 、 NO_x 和經濟成長是否皆符合 EKC 假說之倒 U 型關係。該文結論指出，以國家尺度之研究符合 EKC 假說結論，然而州尺度之迴歸結果則顯示，由於各州情況不同，所獲致之結果存在差異。

Lin et al.（2012）以中國廣東省的廣州市、深圳市、惠州市以及河源市 1990 年至 2009 年廢水污染資料，分析各市環境污染和經濟發展兩者間的關係。該文結論指出，目前只有廣州市的廢水污染和經濟成長符合 EKC 假說。究其原因，係前述各市產業及環保政策存在差異，從各市之地區生產總值（gross regional product，以下簡稱 GRP）組成來看，只有廣州市的第二級產業佔 GRP 比重有逐年下降的趨勢，易言之，污染密集產業可能由廣州市遷移至較低度開發的河源市等地區，且廣州市因開發較早，相對也較為關注環保法規之推動與執行，這也促使廣州市的廢水污染和經濟成長符合 EKC 假說。

Luo et al.（2014）採用中國 2003 年至 2012 年省級城市資料，分別以產業面、國家及四大經濟區尺度來研究區域性空氣污染和經濟成長之關係。根據該文結論，產業面之實證結果是否符合 EKC 假說，與所探討之標的污染物種類有關， NO_2 濃度會隨著第二、三級產業產出增加，呈先遞增後遞減的情況，符合 EKC 假說，然而 SO_2 和 PM_{10} 的濃度則隨著各產業產出增加而遞減。在國家尺度之實證結果方面，亦是 NO_2 符合 EKC 假說，而 SO_2 和 PM_{10} 隨著經濟成長呈現單調遞減的情況。上述結果主要係因 1990 年代以後，能源使用效率改善、產業結構調整以及環保政策落實，使得空氣污染隨著經濟成長呈現遞減趨勢。最後，四大經濟區之實證結果與前述產業面、國家尺度結果有所差異， PM_{10} 和人均 GRP 只在中部地區有顯著負相關； SO_2 和人均

GRP 在中部地區為負相關，在東北部地區則呈正相關；NO₂ 和人均 GRP 之關係在中部及西部地區皆為正相關，在東部地區則呈現倒 U 型。綜上結論可知，國家尺度及區域尺度之 EKC 實證結果存在顯著差異。

2.3 文獻回顧總結

綜合上述文獻回顧可知，EKC 實證研究結果除與污染物種類、模型設定及資料期間有關外，資料之空間尺度亦是影響結論的重要因素。雖現有 EKC 實證研究以國家尺度為大宗，然近年來相關研究逐漸強調降尺度區域研究之重要性與必要性（如 Lin et al., 2012；Luo et al., 2014），這些研究以個別城市／區域為研究範疇，深入比較城市／區域間之產業結構與政策等差異，並探究 EKC 假說是否成立之主因，其所獲致之研究結果，將有助於地方政府研擬因地制宜之產業經濟及環保政策。至於臺灣 EKC 研究方面，目前雖有相關研究（如 Hung & Shaw, 2004；鄭睿合，2008；王淑美等，2010；葉如芸，2011），但以個別區域為範疇進行比較分析者相對較少。為填補此一文獻落差，本文旨在利用區域尺度資料進行實證分析，檢視臺灣各區域之經濟成長與環境污染，是否符合 EKC 假說。

III、資料介紹及敘述統計

本研究針對臺灣整體及降尺度 EKC 假說進行實證分析，文中之降尺度空間單位選擇，係依據國家發展委員會（原經濟建設委員會）出版之「都市及區域發展統計彙編」，將臺灣分為北部、中部、南部及東部四大區域，其中北部區域包含臺北市、基隆市、新北市（臺北縣）、桃園縣、新竹市、新竹縣以及宜蘭縣；中部區域包含苗栗縣、臺中市、臺中縣、彰化縣、南投縣及雲林縣；南部區域涵蓋嘉義市、嘉義縣、臺南市、臺南縣、高雄市、高雄

縣以及屏東縣（註 2）；東部區域則由花蓮縣及臺東縣所組成。本研究期間為 1994 年至 2014 年（註 3），各區域資料涵蓋其所屬之縣市資料，易言之，本研究採用追蹤資料及模型方法進行個別區域 EKC 假說之實證分析。以下將針對前述 22 個縣市之空氣污染、人均所得等變數及影響空氣污染之其他因素等資料來源進行說明。

3.1 空氣污染變數

根據行政院環保署之空氣污染指標（AQI），空氣污染物涵蓋臭氧（ O_3 ）、細懸浮微粒（ $PM_{2.5}$ ）、懸浮微粒（ PM_{10} ）、一氧化碳（CO）、二氧化硫（ SO_2 ）及二氧化氮（ NO_2 ），其中 O_3 、CO、 SO_2 與 NO_2 易因大氣中化學反應（如氧化、光化學反應）而影響濃度，削減其與人為因素（如化石燃料燃燒、工業生產、汽機車排放等）之直接關聯，是以 $PM_{2.5}$ 與 PM_{10} 為較切合本文研究主旨的空氣污染物。然而，由於 $PM_{2.5}$ 資料自 2014 年開始採用各自動監測站與手動監測站數據的線性迴歸式，校正自動監測數據，致使 2014 年前後數據呈現顯著差異，職是之故，本研究選擇 PM_{10} 作為空氣污染變數（註 4）。本文空氣污染資料來自於行政院環境保護署空氣品質監測網及其所發布之「空氣品質監測年報」，配合經濟成長變數資料之可取得性，資料期間為 1994 年至 2014 年，共計 21 年。

3.2 經濟成長（人均所得）變數

本文旨在從事國內四大區域之 EKC 假說實證驗證，故採用「各縣市人均實質所得」作為對應的經濟成長資料，我們根據「都市及區域發展統計彙編」中各縣市平均每年每戶所得總額（經常性收入）、年底戶數及年底人口數等資料推估各縣市人均所得，計算方式如下：

$$\text{平均每戶所得總額} \times \text{年底戶數} / \text{年底人口數} = \text{人均所得} \quad (1)$$

1994 至 2014 年之歷年資料，再以行政院主計處所公布之 GDP 平減指數 (GDP deflator) (2011 年為基期年) 平減之，即可得各縣市人均實質所得 (註 5)。

3.3 其他影響空污之解釋變數

除了人均實質所得外，本研究亦參考王淑美等 (2010)，選用移動源、固定源兩類影響空氣污染之解釋變數。其中移動源相關變數有小客車數、大客車及貨車數及機車數，惟作者檢視臺灣整體及各區域解釋變數相關係數發現，小客車數、大客車及貨車數與機車數之間相關係數值皆大於 0.7，表示彼此間存在高度相關，故本研究僅採用小客車數作為移動源變數。固定源變數則包括第二級產業人口、第二級產業用地面積。以上資料皆取自「都市及區域發展統計彙編」之年資料。

影響 PM_{10} 的因素相對較為複雜，除了污染源之外，地理與氣候因素皆會影響其濃度變化，故本文另參考葉如芸 (2011) 將雨量變數列入解釋變數。由於 PM_{10} 濃度和降雨與否較有關聯，而非降雨時數或雨量之多寡，另為配合本研究其他變數以年資料呈現，是故採用降雨天數年資料作為解釋 PM_{10} 濃度之變數。前述資料取自環保署各空氣品質監測站所紀錄之每日每小時降雨量，根據各測站該日是否有降雨進行統計，再將各縣市各測站年降雨天數平均後得之。此外值得一提的是，EKC 現象是一個經濟體系中長期的觀測結果，以季資料甚至月資料來估計污染與所得兩者間的關聯，極有可能會受到顯著的季節性變異之干擾，尤其若加入雨量這類明顯具有季節性的因子，將使得模型更加難以捕捉污染與所得的長期 EKC 關係。因此採用年資料，不但可以去除季節性的干擾，更能讓資料平滑化，以捕捉變數間的相關性。

3.4 敘述統計分析

表 1 分別彙整臺灣整體及四大區域相關資料之敘述統計，表中數據顯示，東部之 PM₁₀ 污染情況相對輕微；南部區域 PM₁₀ 濃度則為四個區域中最高者。人均實質所得以北部區域最高，南部次之，再者為中部及東部區域。小客車數與第二級產業人口以北部區域最多，接下來依序為中部、南部與東部。第二級產業用地面積則以中部最大，其次依序為北部、南部以及東部區域。降雨天數則以北部區域最多，其次為東部，中部及南部較少。

IV、實證模型與計量方法

根據第二節文獻回顧可知，目前 EKC 實證研究採用的模型設定與計量方法互異，以下說明本研究的相關設定與方法。

4.1 模型設定

EKC 實證研究係以人均所得作為解釋污染之重要變數，一般研究為驗證兩者間之倒 U 型關係，迴歸式中人均所得最高次項為二次。然而，若使用涵蓋低、中、高所得的跨國資料（如 Holtz-Eakin & Selden, 1995），則有機會觀察到 EKC 曲線由單轉折點的倒 U 型曲線（或 U 型曲線），轉變為雙重轉折點的 N 型曲線（或倒 N 型曲線），此時 EKC 之迴歸方程式需要放入人均所得的三次方，以捕捉第二個轉折點。考量本研究所使用的是 1994 年至 2014 年臺灣跨縣市的區域尺度資料，所得離散程度並未太高，且污染源隨著所得增加到相當程度後產生第二個轉折點的現象並不明顯，故僅納入人均所得及其平方項，作為 EKC 迴歸方程式的主要解釋變數。綜上所述，本研究迴歸一般式設定如下：

表 1 臺灣整體及四大區域各變數之敘述統計表

臺灣整體						
觀察樣本個數：462						
變數	起始年平均	最終年平均	標準差	最小值	最大值	
PM ₁₀ (μg/m ³)*	68.558	51.351	15.650	26.900	103.500	
人均實質所得(萬元)	21.266	38.775	9.265	13.083	63.724	
小客車數(百萬輛)	0.172	0.289	0.183	0.009	0.862	
第二級產業人口(千人)	158.909	179.818	140.886	20.000	676.000	
第二級產業用地面積(公頃)	2066.214	2191.056	2195.681	59.226	12879.650	
降雨天數(日)	126.000	121.000	34.434	63.000	225.000	
北部區域						
觀察樣本個數：147						
變數	起始年平均	最終年平均	標準差	最小值	最大值	
PM ₁₀ (μg/m ³)*	55.211	42.216	6.805	29.100	61.000	
人均實質所得(萬元)	25.133	47.787	10.194	18.450	63.724	
小客車數(百萬輛)	0.236	0.385	0.266	0.046	0.862	
第二級產業人口(千人)	210.714	241.000	203.668	42.000	676.000	
第二級產業用地面積(公頃)	1741.474	1764.430	1680.413	236.780	5809.146	
降雨天數(日)	153.000	145.000	32.831	71.000	225.000	
中部區域						
觀察樣本個數：126						
變數	起始年平均	最終年平均	標準差	最小值	最大值	
PM ₁₀ (μg/m ³)*	72.083	54.367	9.465	38.850	90.000	
人均實質所得(萬元)	18.509	33.946	6.727	13.565	46.673	
小客車數(百萬輛)	0.165	0.299	0.107	0.097	0.503	
第二級產業人口(千人)	153.833	185.833	92.471	62.000	367.821	
第二級產業用地面積(公頃)	3769.236	3789.827	3198.875	528.472	12879.650	
降雨天數(日)	117.000	106.000	18.532	65.000	155.000	

表 1 臺灣整體及四大區域各變數之敘述統計表（續前頁）

南部區域						
觀察樣本個數：147						
變數	起始年平均	最終年平均	標準差	最小值	最大值	
PM ₁₀ (μg/m ³)*	85.614	64.372	10.041	51.800	103.500	
人均實質所得（萬元）	20.382	36.130	7.220	13.083	49.889	
小客車數（百萬輛）	0.151	0.244	0.095	0.009	0.401	
第二級產業人口（千人）	144.857	156.714	71.718	25.000	251.422	
第二級產業用地面積（公頃）	1359.971	1745.043	1247.133	223.090	4246.905	
降雨天數（日）	103.000	104.455	17.384	63.000	145.000	
東部區域						
觀察樣本個數：42						
變數	起始年平均	最終年平均	標準差	最小值	最大值	
PM ₁₀ (μg/m ³)*	45.000	28.700	4.611	26.900	46.000	
人均實質所得（萬元）	19.097	30.978	4.768	16.015	34.633	
小客車數（百萬輛）	0.045	0.076	0.019	0.032	0.096	
第二級產業人口（千人）	42.000	28.500	7.523	20.000	50.000	
第二級產業用地面積（公頃）	565.583	448.982	377.316	59.226	1116.905	
降雨天數（日）	139.000	136.000	25.520	91.000	201.000	

註：* 懸浮微粒（particulate matter, PM）中粒徑小於 10 微米（μm）的粒子稱為 PM₁₀，單位以微克／立方公尺（μg/m³）表示之。

資料來源：本研究。

$$E_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \delta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中 E 為污染物； y 為人均所得； X 為其他解釋變數，一般視污染物特性選取不同變數； ε 則為殘差項。

本文採用追蹤資料方法，分別對於臺灣四大區域進行 EKC 假說檢定，並加入 3.3 小節之解釋變數，模型設定如下：

$$P_{it}^j = \alpha_i^j + \beta_1^j Y_{it}^j + \beta_2^j Y_{it}^{2j} + \beta_3^j CAR_{it}^j + \beta_4^j SECPOP_{it}^j + \beta_5^j IA_{it}^j + \beta_6^j RAIN_{it}^j + \varepsilon_{it}^j \quad (3)$$

其中 P 表示 PM_{10} 年平均濃度； Y 為人均實質所得（萬元）； CAR 為小客車數（百萬輛）； $SECPOP$ 為第二級產業人口數（千人）； IA 為第二級產業用地面積（公頃）； $RAIN$ 為降雨天數（日）； ε 則為殘差項。下標部分， j 表示區域，代號 1 到 4 分別為北部、中部、南部及東部區域； i 表示位於 j 區域之縣市； t 表示資料年度，為 1994 至 2014 年。

4.2 計量方法

Greene (2012) 指出，追蹤資料可利用合併、區域固定效果及區域隨機效果模型來從事實證分析。但由於本研究之樣本具有區域特性，若採用合併迴歸將產生偏誤，故排除使用合併迴歸，而是直接採用 Hausman 檢定，判定各迴歸式應採用區域固定效果模型或區域隨機效果模型。此外，若部分解釋變數有著明顯的時間趨勢特性（如經濟成長變數等），則加入時間固定效果的迴歸模型，將與這些變數產生共線性的問題，因此本文的迴歸模型以 Hausman 檢定決定區域固定效果或區域隨機效果，不另加入時間固定效果。最後將臺灣整體和各區域 EKC 迴歸結果分別呈現於第五節，並進行跨區域比較與分析。

環境污染與經濟發展存在著雙向因果關係。經濟發展過程將使得副產物（污染）數量隨之增加，此為單向關聯。然而，在經濟發展到一定階段後，減少這些副產物的排放成為了需求面的誘因，誘使一國經濟結構走向相對潔淨低污染的產業，這些產業之發展，亦為貢獻一國經濟成長的動能，此為反向關聯。職是之故，本文亦特別考慮採用能夠移除環境污染與經濟發展兩者內生性的工具變數—「經濟成長（人均所得）之一階落遲項」，一來它具備解釋當期經濟成長的能力（註 6），二來落遲項的經濟成長變數理論上並不會與當期的環境污染變數產生均衡式相關，而這點也將在本文中透過 Sargan 檢定 (Sargan, 1958) 獲得數據上的支持。

V、實證結果與分析

如前所述，本文目的為探討與比較臺灣整體與四大區域 EKC 實證結果之差異，各區域資料涵蓋其所屬縣市資料，文中利用追蹤資料方法進行迴歸分析。以下分別探討臺灣整體與四大區域結果，最後提供綜合討論分析。

5.1 EKC 實證結果

表 2 為使用工具變數的普通最小平方法之 EKC 估計結果，而表 3 的 EKC 估計結果則來自使用固定效果的追蹤資料模型，並加入相同的工具變數。在表 3 中，我們以 Hausman 檢定決定臺灣整體與四大區域皆採區域固定效果模型。在迴歸係數的正負符號、顯著程度以及邊際影響上，表 2 與表 3 的估計結果有著相當大的差別。考慮普通最小平方法有著遺漏重要解釋變數的問題，表 2 所估計出迴歸係數極可能是偏誤的，因此本節將根據表 3 之估計結果作彙整性分析。

在表 3 的二階段迴歸估計結果中，我們以所得落遲項 Y_{it-1} 與 Y_{it-1}^2 作為工具變數，透過 Sargan 檢定支持其適用性，並修正迴歸可能的內生性偏誤問題。在臺灣整體推估結果方面，實質人均所得及其平方項分別顯著為負與正，顯示 1994 至 2014 年期間，臺灣整體 PM_{10} 濃度會隨著實質人均所得上升呈現先遞減後上升之趨勢（亦即呈現 U 型），不符合 EKC 假說。至於其他解釋變數部分，僅第二級產業用地面積對於 PM_{10} 濃度有顯著的負向影響，這點在第二級產業相對發達的南部地區也有著一樣的結果。比較表 1 中各區域起始年與最終年的第二級產業用地面積數據可知，僅有南部區域之面積有顯著成長，北部與中部地區未有太大增加，東部地區甚至呈現減少的狀況。這是因為本研究期間（1994 年至 2014 年），南部區域歷經南部科學工業園區（簡稱南科）之發展，帶動產業轉型、就業與所得成長，但並未伴隨顯著

的 PM₁₀ 排放量增長，復以第二級產業用地面積增加使得排放源較為分散，愈有足夠的空域稀釋 PM₁₀ 濃度。另小客車數與降雨天數皆對於 PM₁₀ 濃度無顯著影響。小客車數係數估計值不顯著但為負，可能因政府積極加強汽車定期檢驗有關（王淑美等，2010）。降雨天數係數估計值亦不顯著但為負，應是降雨時的混合與洗刷作用，不至於使 PM₁₀ 濃度增加。

表 2 臺灣整體及四大區域 EKC 假說實證迴歸結果（普通最小平方法）

變數	臺灣整體	北部地區	中部地區	南部地區	東部地區
截距項	94.583 ^{***}	66.209 ^{***}	121.035 ^{***}	67.114 ^{***}	30.721
人均實質所得	-0.182	-0.440	-2.939 ^{***}	0.582	1.563
人均實質所得平方	-0.002	0.004	0.021 ^{**}	-0.012	-0.030
小客車數（百萬輛）	19.996 ^{***}	14.843 ^{**}	163.513 ^{***}	-111.392 ^{***}	-173.909
第二級產業人口（千人）	-0.013	-0.011	-0.190 ^{***}	0.256 ^{***}	-0.111
第二級產業用地面積（公頃）	0.0003 ^{**}	0.001 [*]	0.000	-0.008 ^{***}	0.015
降雨天數	-0.261 ^{***}	-0.078 ^{***}	-0.046	-0.013	-0.071 [*]
區域特性	無	無	無	無	無
R ²	0.424	0.258	0.552	0.240	0.436
樣本數	440	140	120	140	40
EKC 曲線	不顯著	不顯著	U 型	不顯著	不顯著

註：*、**、*** 為 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。工具變數為人均實質所得與人均實質所得平方之一階落遲項。聚類標準差（cluster standard errors）已透過 Arellano（2003）所提之 White cross-section covariance 修正為穩健標準差。

資料來源：本研究推估。

表 3 臺灣整體及四大區域 EKC 假說實證迴歸結果（二階段迴歸）

變數	臺灣整體	北部地區	中部地區	南部地區	東部地區
截距項	84.270 ^{***}	63.263 ^{***}	94.676 ^{***}	69.932 ^{***}	37.073
人均實質所得	-1.231 ^{***}	-0.957 ^{***}	-1.137 ^{***}	0.758	1.432
人均實質所得平方	0.011 ^{***}	0.008 ^{**}	0.004	-0.023 ^{***}	-0.028
小客車數（百萬輛）	-22.769	5.140	-13.566	7.413	-199.285
第二級產業人口（千人）	0.063	0.021	0.008	0.298 ^{**}	-0.159
第二級產業用地面積（公頃）	-0.001 ^{**}	0.003	0.000	-0.025 ^{***}	0.013
降雨天數	-0.032	-0.025	-0.019	-0.021	-0.072 [*]
區域特性	固定效果	固定效果	固定效果	固定效果	固定效果
R ²	0.849	0.438	0.774	0.427	0.437
樣本數	440	140	120	140	40
EKC 曲線	U 型	U 型	負斜率	(後半段) 倒 U 型	不顯著
Sargan 檢定統計量	7.910	4.002	3.894	3.469	0.749

註 1：*、**、***為 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。迴歸結果採用二階段迴歸，工具變數為人均實質所得與人均實質所得平方之一階落遲項。聚類標準差（cluster standard errors）已透過 Arellano（2003）所提之 White cross-section covariance 修正為穩健標準差。

註 2：Sargan 檢定統計量對應之臨界值為自由度為 2 的卡方分配，在 5% 的顯著水準下為 5.991，1% 則為 9.210。臺灣整體的 Sargan 檢定統計量需以 1% 顯著水準作為臨界值，才能支持工具變數的外生性，而北、中、南、東四個區域僅需以 5% 的顯著水準便可支持工具變數的外生性。

資料來源：本研究推估。

由於本文主要探討地區尺度 EKC 實證結果差異，我們進一步於圖 1 呈現各縣市之固定效果，由圖中可以發現，北部及東部區域縣市之 PM₁₀ 濃度大多低於平均值，中、南部區域縣市之 PM₁₀ 濃度則多高於平均值，顯示 PM₁₀ 濃度存在地區性差異且中南部區域污染情況較為嚴重。綜上所述可知，EKC 會因為地區性差異而呈現不同結果，故有必要分別以各區域進行更進一步之分析，接下來將分別探討臺灣北、中、南及東部區域之 EKC 迴歸結果。

在北部地區迴歸結果方面，實質人均所得及其平方項之係數估計值顯著為負與正，顯示 1994 至 2014 年間北部區域 PM_{10} 濃度與實質人均所得之間呈現 U 型關係，不滿足 EKC 假說，其他解釋變數對於 PM_{10} 濃度則無顯著影響。 PM_{10} 濃度隨著所得增加而先降後升的北部地區，其人均實質所得的轉折點經計算約為每年 60 萬元新台幣，在本文使用的數據中，北部地區僅臺北市在 2010 年已突破此一門檻。至於中部地區方面， PM_{10} 濃度隨實質人均所得上升而遞減，且實質人均所得平方項係數不顯著，故 EKC 呈現負斜率，且其他解釋變數對於 PM_{10} 濃度之影響皆不顯著。易言之，中部區域雖有火力發電廠，但其 PM_{10} 濃度在研究期間內只顯著受實質人均所得影響，可能原因為本研究已將此一影響透過固定效果的方式捕捉，進而使本研究選取之其他變數未顯著影響中部區域 PM_{10} 濃度（註 7）。南部地區迴歸結果顯示，實質人均所得係數估計值不顯著，但其平方項係數顯著為負，顯示南部區域於 1994 至 2014 年期間，污染隨著所得呈現非線性遞減的（後半段）倒 U 型趨勢，此外，固定源變數亦為影響南部區域 PM_{10} 濃度之關鍵因素，其中第二級產業人口對於 PM_{10} 濃度影響顯著為正，第二級產業用地面積之影響則顯著為負。如前所述，本文研究期間南部區域歷經南科之發展，帶動區域產業轉型、就業與所得成長，其中第二級產業人口增加捕捉產業「規模」擴大效果，因之對 PM_{10} 濃度有正向貢獻；而第二級產業用地面積擴大，則捕捉因南科之發展帶動產業轉型與排放源分散之產業「組成」與「技術」效果，因之對於 PM_{10} 濃度有負向影響。最後，在東部地區方面，實質人均所得及其平方項對於 PM_{10} 濃度皆無顯著影響，其他解釋變數中，僅有雨量具有顯著降低 PM_{10} 濃度的效果，推測此一結果或與東部區域之產業特性與地理位置有關。

5.2 綜合討論

本文採用 1994 至 2014 年臺灣 22 縣市之追蹤資料，包括 PM_{10} 濃度、實質人均所得、小客車數、第二級產業人口、第二級產業用地面積以及降雨天

數，針對臺灣整體與四大區域分別進行 EKC 迴歸分析，探討各區域間 EKC 實證結果之差異。本文迴歸結果顯示，樣本之空間尺度係影響實證結果的重要因素。臺灣整體及北部地區之 EKC 呈現 U 型關係，中部地區之 EKC 呈現負斜率，南部地區結果滿足 EKC 假說呈（後半段）倒 U 型關係，東部地區的結果顯示實質人均所得對於 PM₁₀ 濃度之影響並不顯著。

除實質人均所得外，本研究亦考慮其他解釋變數對 PM₁₀ 排放之影響。根據迴歸估計結果，在臺灣整體結果方面，第二級產業用地面積亦為影響空氣污染物的主要因素，此一結果與 Park and Lee (2011) 所獲致之結論相同。在四大區域結果方面，其他解釋變數對於北部與中部區域之影響皆不顯著，僅南部區域 PM₁₀ 受到第二級產業人口的正向顯著影響與用地面積的負向顯著影響。東部區域的第二級產業用地面積影響顯著為正，而雨量因素對於 PM₁₀ 影響則顯著為負。對照環保署空氣污染物 PM₁₀ 排放量分行業別與縣市別之統計（如圖 2~圖 5 所示），各區域 PM₁₀ 排放量排放來源較為分散，且前五大之部門差異頗大，南部地區主要排放源為第二級產業（製造業），與本研究之迴歸結果大致相符。

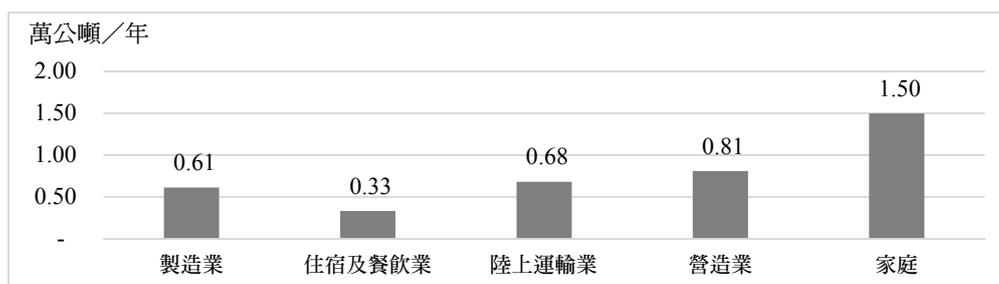


圖 2 北部區域 PM₁₀ 排放量前五大部門

資料來源：本研究推估。

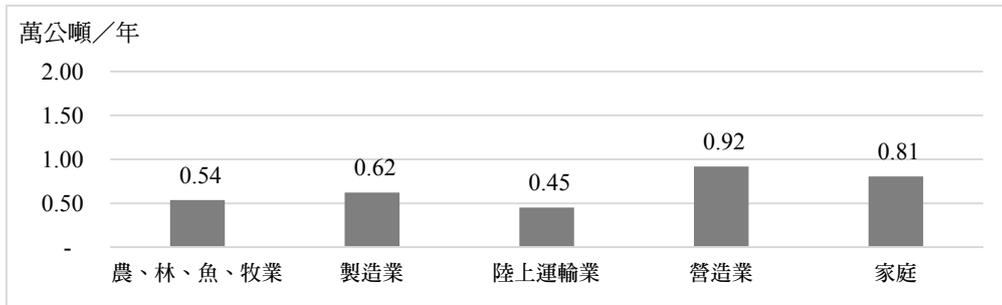


圖 3 中部區域 PM₁₀ 排放量前五大部門

資料來源：本研究推估。

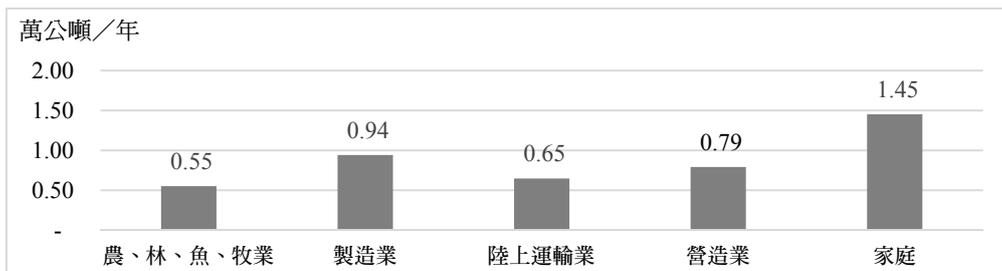


圖 4 南部區域 PM₁₀ 排放量前五大部門

資料來源：本研究推估。

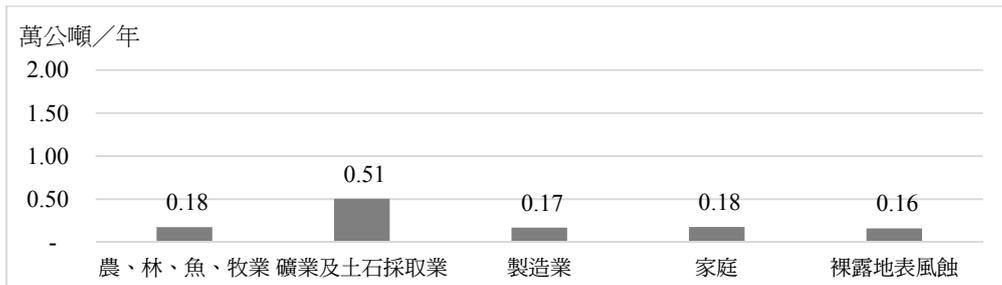


圖 5 東部區域 PM₁₀ 排放量前五大部門

資料來源：本研究推估。

VI、結論與建議

有別於過去文獻以國家整體進行 EKC 研究，本文主要針對臺灣整體及四大區域分別從事 EKC 實證分析，並分析與比較其差異。根據本文實證結果，國家尺度及地區尺度的 EKC 實證結果差異甚大，凸顯降尺度實證分析之必要性，而所得結果應較諸大尺度研究更能提供區域發展建議，這也說明區域之環保及產業經濟政策須因地制宜，以有效兼顧區域經濟成長與環境保護兩者平衡發展之目的。

根據本文實證結果，北部區域 PM_{10} 濃度隨著實質人均所得上升，有先遞減再微幅上升之趨勢，中部區域 PM_{10} 濃度隨著實質人均所得上升而遞減，南部區域符合 EKC 假說之（後半段）倒 U 型關係，東部區域 PM_{10} 濃度則不受實質人均所得影響。此一結果顯示中、南部區域在經濟成長的同時 PM_{10} 濃度呈下降趨勢，反之，北部區域在經濟成長的同時， PM_{10} 濃度將隨之遞增，因之在政策設計上，需特別導入經濟成長與環境污染脫鉤之策略措施，如提升能源效率、採用潔淨或減量技術等。在所有區域中，僅南部區域 PM_{10} 濃度顯著受到第二級產業人口與用地面積影響，由於南部區域主要城市（如高雄）為臺灣工業重鎮，未來在第二級產業之發展與轉型上應有合宜規劃，以期有效兼顧經濟成長與環境品質雙贏之目標。

最後說明本研究限制。首先，本文研究期間涵蓋 1994 至 2014 年，此係因臺灣資料之可取得性之限制，環保署至 1993 年 9 月才完成「全國空氣品質監測網設置計畫」，各區域之空氣品質監測站於此時方設立完整，又本研究以探討地區尺度之 EKC 為主，必須採用各區域空氣污染資料，因此研究期間起自 1994 年，然而臺灣環境污染遞增階段主要在 1970 年代第二級產業發展時期，經濟快速成長的同時污染也隨之增加，囿於資料限制，本研究未

能包含此一時期，可能是實證結果無法滿足 EKC 假說的主要原因。

其次，本文以人均實質所得、與空污有關的移動排放源、固定排放源及降雨天數等變數進行降尺度 EKC 假說之實證驗證，然而，由於影響 PM₁₀ 濃度之複雜因素甚多，包括因風勢吹拂、移動排放源等所造成的跨縣市污染，大陸沙塵暴所造成的跨境污染，另亦可能與家計單位活動有所關聯，這些均為有趣的研究議題，建議後續研究可加以探討。此外，在固定排放源變數中，本文採用第二級產業用地面積，未來研究或可考慮採用其他解釋變數（如煙函數、煙函高度等），或可更精準捕捉固定排放源與 PM₁₀ 濃度之關聯。最後，上述固定排放源與非固定排放源的變數選擇及可能遺漏的區域特性變數等問題，雖本文已採用固定效果模型處理之，以改善推估偏誤之問題，但建議後續研究可進一步考慮參採其他可能影響 PM₁₀ 濃度之變數，進行實證結果驗證與比較分析。

附註

1. 本研究分別針對此四大區域進行個別計量分析，此一為劃分之降尺度空間單位，或有可能無法完全捕捉影響 PM₁₀ 濃度之氣候與地理條件，但可凸顯不同區域經濟發展與環境品質差異，並提供不同區域行政管轄單位之相關政策研擬建議。
2. 本文分析著重臺灣本島，故未將澎湖縣列入分析範圍。
3. 本研究期間涵蓋西元 2010 年五都改制前後時期，相關統計資料之取得與處理說明如下：(1) 臺北縣更名為新北市，因之改制前後分採臺北縣與新北市資料；(2) 原臺中縣、臺南縣與高雄縣，分別合併至臺中市、臺南市與高雄市，為儘可能提高本研究之樣本個數，故採用「縣市合併前」之空間單位，2011 年後臺中縣、臺南縣與高雄縣之空污資料，直接取自各縣內之測站資料，至於經濟面資料，則根據歷史資料中，縣資料佔隸屬之（改制後）直轄市比例推估而得。
4. 各縣市之空氣污染物年平均濃度數值，係根據 1998 年（含）以後統計年報之計算方式，將位於該縣市之各測站所得到的污染物年平均濃度取平均值。以人為劃分的縣市作為資料單位，係為配合其他降尺度統計資料（如所得等）之空間尺度，縣市資料單

位或有可能無法捕捉 PM_{10} 受風勢吹拂所造成的跨縣市影響，但考量一排放源對其鄰近地區之影響較遠距地區為大，且跨縣市污染議題屬大氣研究領域，超出本研究範疇，故未予討論。另根據統計年報之說明，監測站依不同監測目的，分為一般、交通、工業、國家公園及背景空氣品質監測站等五種類型，為避免污染物濃度數值因監測站之性質不同而有所偏誤，本研究中計算各縣市之污染物年平均濃度僅採用一般測站資料。

5. 臺中縣、臺南縣與高雄縣 2011 年後之人均所得資料，係分別根據 2010 年的「年底戶數」與「年底人口數」佔其隸屬之（改制後）直轄市比例推估而得。
6. 根據本文所使用之資料樣本觀之，人均所得與其一階落遲項的相關性為 98% 以上。
7. 根據臺灣地區空氣品質長期趨勢分析及年報編撰，臺灣地區 PM_{10} 濃度變化與季節性和該區人口密度關係密切，濃度最高主要發生於春冬兩季，在七大空品區中以中部、雲嘉南、高屏空品區的濃度最高，宜蘭及花蓮空品區的濃度最低。其中影響空品區 PM_{10} 濃度的主要其他因素包括風向、地形、河川揚塵、大陸沙塵暴等。

參考文獻

- 王淑美、胡均立、謝承憲（2010）。探討臺灣地區移動污染源與空氣品質之環境願志耐曲線。臺北市：行政院國家科學委員會專題計畫。
- 行政院環境保護署（2015）。中華民國臺灣地區空氣品質監測報告 2001-2014 年報。
- 行政院國家發展委員會（2015）。都市及區域發展統計彙編 1994-2014 年。
- 葉如芸（2011）。臺灣地區空氣污染之長期研究－願志耐曲線的不適用性（碩士論文）。東海大學，臺中市。
- 鄭睿合（2008）。臺灣與日、韓環境願志耐曲線之應用－二氧化碳排放變動分析（碩士論文）。國立中央大學，桃園市。
- Akbostancı, E., Türüt-Asık, S., & İpek Tunc, G. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861-867.
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy Policy*, 76, 123-131.
- Arellano, M. (2003). *Panel Data Econometrics*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). The renewable energy and growth: Evidence for Turkey using environmental Kuznets curve model. *The 2014 WEI International Academic Conference Proceedings*. Budapest, Hungary: The West East Institute 21.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455.
- Friedl, B., & Getzner, M. (2003). Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics*, 45(1), 133-148.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No. 3914.
- Harbaugh, W. T., Levinson, A., & Wilson, D. M. (2002). Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve. *The Review of Economics and*

- Statistics*, 84(3), 541-551.
- Holtz-Eakin, D., & Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57(1), 85-101.
- Hung, M. F., & Shaw, D. (2004). Economic growth and the environmental Kuznets curve in Taiwan: A simultaneity model analysis. In M. Boldrin, B. L. Chen, & P. Wang (Eds.), *Human capital, trade and public policy in rapidly growing economies: From theory to empirics* (pp. 269-290). UK: Edward Elgar.
- Lin, C.Y., & Liscow, Z. D. (2013). Endogeneity in the environmental Kuznets curve: An instrumental variables approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), 268-274.
- Lin, S., Zeng, F., Fang, H., & Xu, Z. (2012). An empirical test of the environmental Kuznets curve in Guangdong province, China. *APCBEE Procedia*, 1, 204-209.
- List, J. A., & Gallet, C. A. (1999). The environmental Kuznets curve: Does one size fit all? *Ecological Economics*, 31(3), 409-423.
- Luo, Y., Chen, H., Zhu, Q., Peng, C., Yang, G., Yang Y., & Zhang, Y. (2014). Relationship between air pollutants and economic development of the provincial capital cities in China during the past decade. *PLoS ONE*, 9(8), e104013.
- Markandya, A., Golub, A., & Pedroso-Galinato, S. (2006). Empirical analysis of national income and SO₂ emissions in selected European countries. *Environmental and resource economics*, 35(3), 221-257.
- Martínez-Zarzoso, I., & Bengochea-Morancho, A. (2004). Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO₂. *Economics Letters*, 82(1), 121-126.
- Ojewumi, J. S. (2016). Environmental Kuznets curve hypothesis in Sub-Saharan African countries: Evidence from panel data analysis. *International Journal of Environment and Pollution Research*, 4(1), 39-51.
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. *World Employment Programme Research Working Paper*, No. 238.
- Park, S., & Lee, Y. (2011). Regional model of EKC for air pollution: Evidence from the

- Republic of Korea. *Energy Policy*, 39(10), 5840-5849.
- Roca, J., Padilla, E., Farré, M., & Galletto, V. (2001). Economic growth and atmospheric pollution in Spain: Discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics*, 39(1), 85-99.
- Saboori, B., Sulaiman, J. B., & Mohd, S. (2012). An empirical analysis of the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions in Indonesia: The role of energy consumption and foreign trade. *International Journal of Economics and Finance*, 4(2), 243-251.
- Sargan, J. D. (1958). The estimation of economic relationships using instrumental variables. *Econometrica*, 26(3), 393-415.
- Taghvaei, V. M., & Parsa, H. (2015). Economic growth and environmental pollution in Iran: Evidence from manufacturing and services sectors. *Custos e Agronegócio*, 11(1), 115-127.
- Ubaidillah, N. Z. (2011). The Relationship between income and environment in UK's road transport sector. Is there an EKC? *2011 International Conference on Economics and Finance Research, IPEDR 4*, 100-103.
- Yaguchi, Y., Sonobe, T., & Otsuka, K. (2007). Beyond the environmental Kuznets curve: A comparative study of SO₂ and CO₂ emissions between Japan and China. *Environment and Development Economics*, 12(3), 445-470.

附錄

附表 1 跨國/國家尺度之 EKC 相關文獻整理

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範圍	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
支持	Grossman and Krueger (1991)	1977, 1982, 1988	跨國	橫斷面資料	SO ₂ 黑煙	$E_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 GDP_{it} + \alpha_2 GDP_{it}^2 + \alpha_3 GDP_{it}^3 + \alpha_4 Desert + \alpha_5 Coast + \alpha_6 Centralcity + \alpha_7 Industrial + \alpha_8 Resid + \alpha_9 D_{it} + \alpha_{10} Yr + \alpha_{11} Communist + \alpha_{12} Trade_{it}$	隨機與固定效果模型	轉折點位於 \$4,000 - \$5,000 之間
支持	Hung and Shaw (2004)	1988-1997	國家 (臺灣)	追蹤資料	NO ₂ CO	$\ln P_{it} = \mu_i + \gamma_1 \ln Y_{it} + \gamma_2 (\ln Y_{it})^2 + w \ln X_{it} + e_{it}$ $\ln Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln L_{it} + \beta_4 \ln H_{it} + \beta_5 \ln G_{it} + \varepsilon_{it}$	外生性檢定 兩階段最小平方法	轉折點 NT\$384,000 轉折點 NT\$205,000
支持	Shahbaz et al. (2010)	1971-2008	國家 (葡萄牙)	時間序列資料	CO ₂	聯立方程式模型 (simultaneity model) $LCO_2 = \beta_1 + \beta_{ENC} LENC_t + \beta_{GDP} LGDP_t + \beta_{GDP^2} LGDP_t^2 + \beta_{TR} LTR_t + \beta_{URB} LURB_t + \mu_1$	ADF 單根檢定 Granger 因果關係檢定 序列相關檢定 穩定性檢定 異質變異檢定	EKC 呈倒 U 型，顯示經濟結構轉變有助減緩 CO ₂ 排放。

轉換自 ARDL 之誤差修正模型

附表 1 跨國／國家尺度之 EKC 相關文獻整理 (續前頁)

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範圍	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
支持	Ubaidillah (2011)	1970-2008	國家 (英國)	時間序列資料	CO	$CO_t = \beta_0 + \beta_1 GDPC_t + \beta_2 GDPC_t^2 + \varepsilon_t$	ADF 單根檢定 共整合檢定 穩定性檢定	EKC 呈現倒 U 型，轉折點位於人均 GDP \$21,402。
支持	Luo et al. (2014)	2003-2012	國家 (中國)	追蹤資料	NO ₂ SO ₂ PM ₁₀	$E_{it} = \alpha_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 X_{it}^3 + e_{it}$	固定效果	NO ₂ 之 EKC 呈倒 U 型。SO ₂ 及 PM ₁₀ EKC 遞減，顯示環境污染會隨經濟成長減緩。
支持	王淑美等 (2010)	2001-2008	國家 (臺灣)	追蹤資料	Sox NOx CO	$AP_{ijt} = \alpha_{i0} + \alpha_{i1} \ln C_{jt} + \alpha_{i2} (\ln C_{jt})^2 + \alpha_{i3} VC_{jt} + \alpha_{i4} VB_{jt} + \alpha_{i5} VT_{jt} + \alpha_{i6} EE_{jt} + \alpha_{i7} Pop_{jt} + \alpha_{i8} IA_{jt} + \alpha_{i9} FN_{jt} + \varepsilon_{ijt}$	最小平方方法	EKC 假說成立外，證實移動污染源亦為影響空氣污染之重要因素。
不支持	Holtz-Eakin and Selden (1995)	1951-1986	跨國 (130 國)	追蹤資料	CO ₂	$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3 + \varepsilon_{it}$	固定效果	CO ₂ 隨著經濟成長呈 N 型趨勢。

附表 1 跨國/國家尺度之 EKC 相關文獻整理 (續前頁)

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範圍	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
不支持	Harbaugh et al. (2002)	1971-1992	跨國	追蹤資料	黑煙 SO ₂ 總懸浮微粒	$Y_{it} = G_{it}\beta_1 + G_{it}^2\beta_2 + G_{it}^3\beta_3 + L_{it}\beta_4 + L_{it}^2\beta_5 + L_{it}^3\beta_6 + X_{it}\beta_7 + \nu_{it}$	隨機效果 固定效果	經濟成長不必 然會造成環境 污染之遞增或 遞減。
不支持	Friedl and Getzner (2003)	1960-1999	國家 (奧地利)	時間序列 資料	CO ₂	$CO2_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 \times 10^{-2} + \beta_3 Y_t^3 \times 10^{-5} + \beta_4 Y_t \times D_{75} + \beta_5 \nu_{it} + \beta_6 T_t + \beta_7 I_t + \beta_8 S_t + \beta_9 CO2_{t-1} + \varepsilon_t$	ADF 單根檢 定 兩階段共整 合檢定 最小平方法	CO ₂ 與人均 GDP 之間呈現 N 型關係, EKC 假說不 成立。
不支持	Marinez-Zarzoso and Bengochea-Morancho (2004)	1975-1998	跨國 (OECD)	追蹤資料	CO ₂	$\ln CO2_{it} = \alpha_{0i} + \alpha_{1i} \ln y_{it} + \alpha_{2i} (\ln y_{it})^2 + \alpha_{3i} (\ln y_{it})^3 + \beta_{it} t + \mu_{it}$ ARDL 模型 (合併群組平均法)	單根檢定 共整合檢定	EKC 呈 N 型。
不支持	Akbostanci et al. (2009)	1968-2003 1992-2001	國家 (土耳其)	時間序列 資料 追蹤資料 追蹤資料	CO ₂ SO ₂ PM ₁₀	$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3$ $LCO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 LY_{it} + \beta_2 LY_{it}^2 + \beta_3 LY_{it}^3$ $E_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3 + \beta_4 D_{it} + \varepsilon_{it}$	ADF 單根檢 定 Johansen 共 整合檢定 Pooled EGLS	EKC 呈單調 遞增。 EKC 呈 N 型。 EKC 呈 N 型。

附表 1 跨國／國家尺度之 EKC 相關文獻整理 (續前頁)

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範疇	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
不支持	Park and Lee (2011)	1990-2005	國家 (南韓)	追蹤資料	SO ₂ NO ₂ CO	$E_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 GRDP_{it} + \alpha_2 GRDP_{it}^2 + \alpha_3 GRDP_{it}^3 + \alpha_4 Pop_{it} + \alpha_5 \ln Cars_{it} + \alpha_6 Industry_{it} + \alpha_7 \ln Energy_{it} + \varepsilon_{it}$	Hausman 檢定 固定及隨機效果	EKC 呈 N 型。 EKC 呈 U 型。 EKC 呈 U 型。
不支持	Saboori et al. (2012)	1971-2007	國家 (印尼)	時間序列資料	CO ₂	$\ln E_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_t + \alpha_2 (\ln Y_t)^2 + \alpha_3 \ln EN_t + \alpha_4 \ln TR_t + \varepsilon_t$ <p>轉換自 ARDL 之誤差修正模型</p>	ADF 單根檢定 共整合檢定 穩定性檢定	CO ₂ 與所得呈 U 型，且能源消耗與貿易皆顯著影響 CO ₂ 之排放。
不支持	Ojewumi (2016)	1980-2012	跨國 (南撒哈拉)	追蹤資料	CO ₂ 工業排放 廢水排放	$CO2_{it} = \alpha + \gamma_i + \theta_i + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \varepsilon_{it}$	Panel 單根檢定 共整合檢定 固定效果	EKC 會因污染物種類不同而改變。
不支持	Taghvaei and Parsa (2015)	1980-2009	國家 (伊朗) (製造業及服務業)	時間序列資料	CO ₂	$LCO2_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Lx_{it} + \alpha_2 Lx_{it}^2 + \alpha_3 Lx_{it}^3 + \alpha_4 Lru_{it} + dr + u_{it}$ <p>$x = m, s$ ARDL 模型</p>	ADF 單根檢定 共整合檢定 序列相關檢定 常態性檢定 穩定性檢定	EKC 呈 N 型。

附表 1 跨國／國家尺度之 EKC 相關文獻整理 (續前頁)

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範疇	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
不支持	鄭睿合 (2008)	1971-2005	國家 (臺灣) (日本) (韓國)	時間序列 資料	CO ₂	$\ln\left(\frac{CO_2}{GDP}\right)_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln\left(\frac{GDP}{POP}\right)_i + \alpha_2 \left[\ln\left(\frac{GDP}{POP}\right)_i\right]^2 + \alpha_3 Density_i + \alpha_4 EXPGDP_i + \alpha_5 Indserv_i + \alpha_6 Fincoaloil_i + \alpha_7 Nucleargas_i + \alpha_8 \ln\left(\frac{GDP}{Energy}\right)_i + \alpha_9 D_{yr} + \alpha_{10} T_i + \varepsilon_i$	ADF 單根檢定 共整合檢定 最小平方方法	EKC 呈 U 型。 EKC 單調遞減。 EKC 呈 U 型。
不支持	葉如芸 (2011)	1998/1-2010/5	國家 (臺灣)	時間序列 資料	PM ₁₀ NO ₂ 臭氧	$P_i = \alpha_0 + \alpha_1 Y_i + \alpha_2 Y_i^2 + \alpha_3 R_i + \varepsilon_i$ <p>Engle-Granger 共整合 長期模型 轉換自 ARDL 之誤差修正模型</p>	單根檢定 共整合檢定	污染物皆不符合 EKC 假說，其濃度主要受雨量與污染物之落運項影響。

資料來源：本研究整理。

附表 2 降尺度／地區尺度之 EKC 文獻整理

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範疇	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
支持	Lin et al. (2012)	1990-2009	地區 (廣州市)	時間序列資料	廢水	$W = apGDP^3 + bpGDP^2 + cpGDP + d$ $W = epGDP^2 + fpGDP + g$ $W = h \ln(PGDP) + i$	最小平方方法	由於產業結構調整，廣州第一、二級產業比例下降，EKC 呈倒 U 型。
不支持	Lin et al. (2012)	1990-2009 1996-2009 1996-2009	地區 (深圳) (惠州) (河源)	時間序列資料	廢水	同上	最小平方方法	因產業結構調整，污染密集產業可能由廣州轉往其他相對開發較晚之地區，故深圳、惠州及河源市之水污染仍隨所得呈現遞增趨勢。
EKC 實證結果隨各地區而有所不同	List and Gallet (1999)	1929-1994	地區 (美國各州)	追蹤資料	SO ₂ NOx	$P_{jit} = \sum_{k=1}^K \beta_{jit} X_{jit} + \Phi_{jit} T + \varepsilon_{jit}$	固定效果	EKC 假說成立與否會隨各州而不同。

附表 2 降尺度／地區尺度之 EKC 文獻整理 (續前頁)

支持 EKC 假說與否	作者	研究期間	研究範疇	資料屬性	污染物	迴歸方程式	計量方法	主要結論
EKC 實證結果隨各地區而有所不同	Luo et al. (2014)	2003-2012	地區 (中國四大經濟區)	追蹤資料	NO ₂ SO ₂ PM ₁₀	$E_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij}^2 + \beta_3 X_{ij}^3 + \varepsilon_{ij}$	固定效果	EKC 假說是否成立會因各區域而有所不同。但依照目前多數區域污染物隨所得而遞減之趨勢，作者認為環境污染會隨經濟成長減緩。

資料來源：本研究整理。

Regional Economic Growth and Environmental Quality: An Empirical Analysis on Downscaled Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Taiwan

Tsung-Chen Lee^{*}, Guan-Ying Li^{**}, Yi-Chia Wang^{***}

The hypothesis of Environmental Kuznets Curve (EKC) aims at exploring whether pollution would first increase with economic growth and then decrease after some turning point(s). A survey on the current literature shows that most of the EKC studies focus on the empirical tests at national level. Few pay special attention to the differences in empirical results across regions within a country. Given the fact that regional air pollutions (e.g., PM_{10}) are significantly influenced by regional industrial development, weather, and other geographical factors, the studies at national levels may only show the average results for the whole country but belie extreme regional differences. To fill the gap in the literature, this study aims at exploring whether or not there are differences in the empirical results of EKC hypothesis across regions in Taiwan. Following regional classifications in

* Corresponding author: Professor, Department of Economics, National Taipei University. Address: 151, University Rd., San Shia District, New Taipei City, 23741 Taiwan. E-mail: tclee@gm.ntpu.edu.tw.

** Master, Department of Economics, National Taipei University.

*** Associate Professor, Department of Economics, National Taipei University.

The authors would like to thank the editor-in-chief, editors of the special issue, and anonymous referees for their valuable comments and suggestions. Any errors that remain are, of course, the sole responsibility of the authors.

Received 22 January 2019; Received in revised form 2 June 2019; Accepted 17 June 2019.

“Urban and Regional Development Statistics”, we divide Taiwan into four regions, consisting of northern, central, southern, and eastern regions, and examine the validity of EKC hypothesis for each of them. Central to the analysis is to examine the inverted U-shaped relationship between regional PM_{10} concentration and income per capita using panel data regression with other explanatory variables, consisting of quantity of cars, labor and land used in the manufacturing sectors, and the days with rainfall. Our empirical evidence shows that the test results of EKC hypothesis are quite different across regions. In addition, the factors affecting regional PM_{10} concentration are dissimilar. Accordingly, to decouple economic growth and air pollutions, the policies for PM_{10} abatement should be designed based on regional attributes such as regional economic and industrial development, as well as climate and geographical factors.

Keywords: *environmental Kuznets curve, downscaled analysis, regional level, air pollution, panel data*