

## 摘要

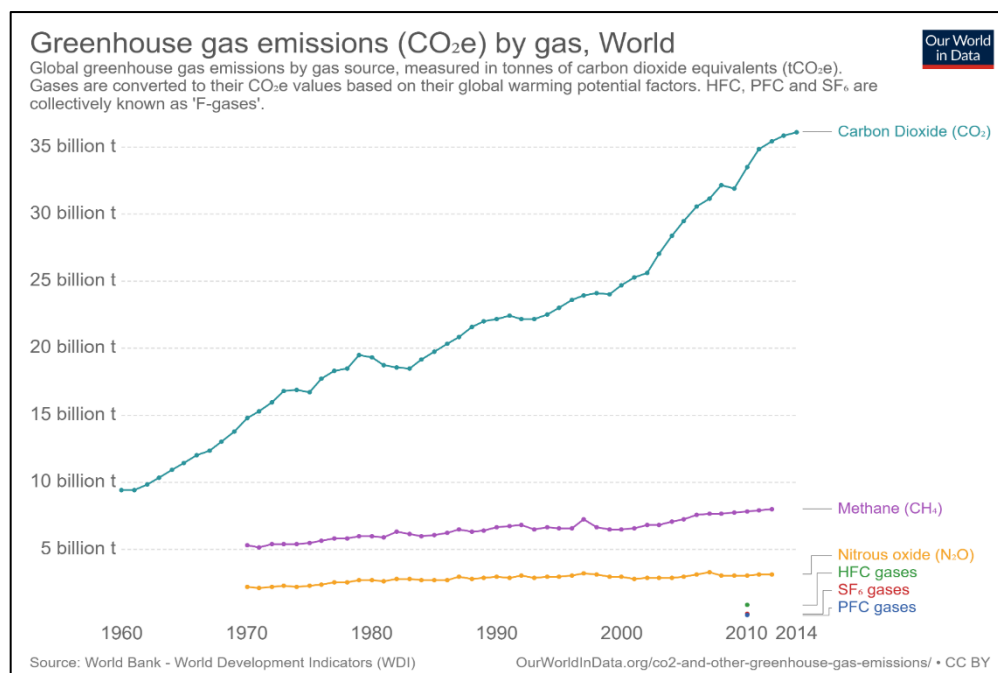
本文主旨探討世界上不同開發程度的國家，各國之 GDP (國內生產總值)對二氧化碳排放量的影響。實證資料使用世界銀行 2004 年至 2014 年共 211 個國家之追蹤資料，並將資料以國家發展程度分為未開發、開發中、已開發三種類型。研究以環境庫茲涅茨曲線為理論背景，進一步分析 GDP 對二氧化碳排放量是否具有正向影響，並加入相關的影響因素。全文採用 OLS 分析、固定效果模型、隨機效果模型、Hausman Test 等研究方法進行檢定，最終選擇固定效果模型進行本研究之討論。

實證結果發現：人均國內生產總值對二氧化碳排放量，呈正相關且具顯著水準，以及人均國內生產總值取對數的平方與二氧化碳呈現穩定且顯著的負相關，圖形呈倒 U 形式且符合環境庫茲涅茨曲線假說，此結果也顯示當人民生活水準提高，會更加重視環保，而企業、政府就必須升級技術以提高能源使用率，進而降低二氧化碳排放量。研究且發現，農業占比與製造業出口具正向顯著影響碳排放量，而外國直接投資、核能發電占比、可耕種地面積、森林面積、製造業進口則不具顯著水準。上述研究結果可供社會大眾了解並意識到環境保護與經濟轉型之重要性。

**關鍵字：**GDP (國內生產總值)、製造業進出口值、森林面積、可耕種地面積、農業占比、核能發電占比、FDI (外國直接投資)、碳排放量、固定效果模型、隨機效果模型、Hausman Test、環境庫茲涅茨曲線

## 壹、緒論

21 世紀初，在經濟及科技迅速發展下，環境生態的污染幾乎是無法避免的，全球暖化已成為各國所擔憂與關心的議題。可由 1997 年簽訂的京都議定書到 2015 年簽訂的巴黎協議，皆期望能共同遏阻全球暖化的趨勢。溫室氣體的增加，加強了溫室效應，是造成全球暖化的主要原因，因此降低溫室氣體低排放為主要協議之一，且由於工業革命，人類燃燒化石燃料而使二氧化碳含量急劇增加將近 30%，如圖 1-1 得知，溫室氣體之中含量最高的二氧化碳，其全球排放量從 1900 年的 20 億噸二氧化碳增加到 115 年後的 360 多億噸，另外，根據 Global Carbon Project，2018 年全球二氧化碳排放量增長了 2.7%。

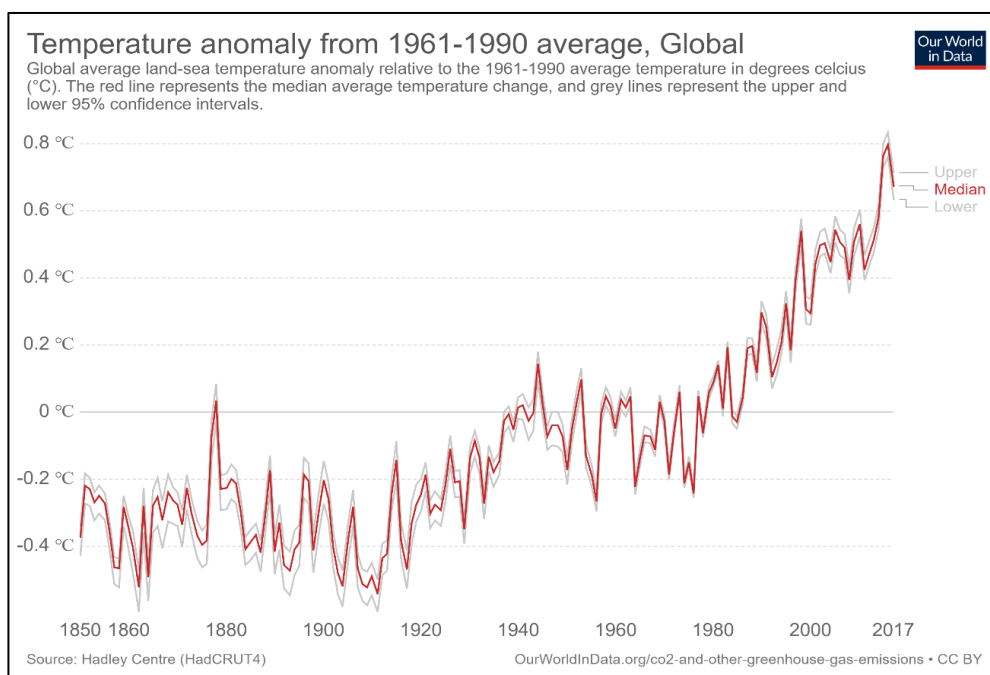


(圖 1-1：全球溫室氣體排放趨勢)

(資料來源：World Bank-World Development Indicators(WDI) /

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>)

環境氣候的變化，除了造成生態環境不可逆的破壞，也帶給人類生存的危機。根據 BBC 的報導指出：「全球氣溫已經比工業化前平均提高約 1°C，並且仍以每十年約 0.17°C 的速度上升。」如圖 1-2 得知，自工業化時代以來，全球平均溫度已升高約 1.2°C，其原因不外乎為溫室氣體大幅增加。工業革命以來，全球二氧化碳排放量以倍速之勢增加中，經濟發展的同時，也必須兼顧環境保護。因而，藉由協議的設立以減少溫室氣體的排放量，已勢不容緩。

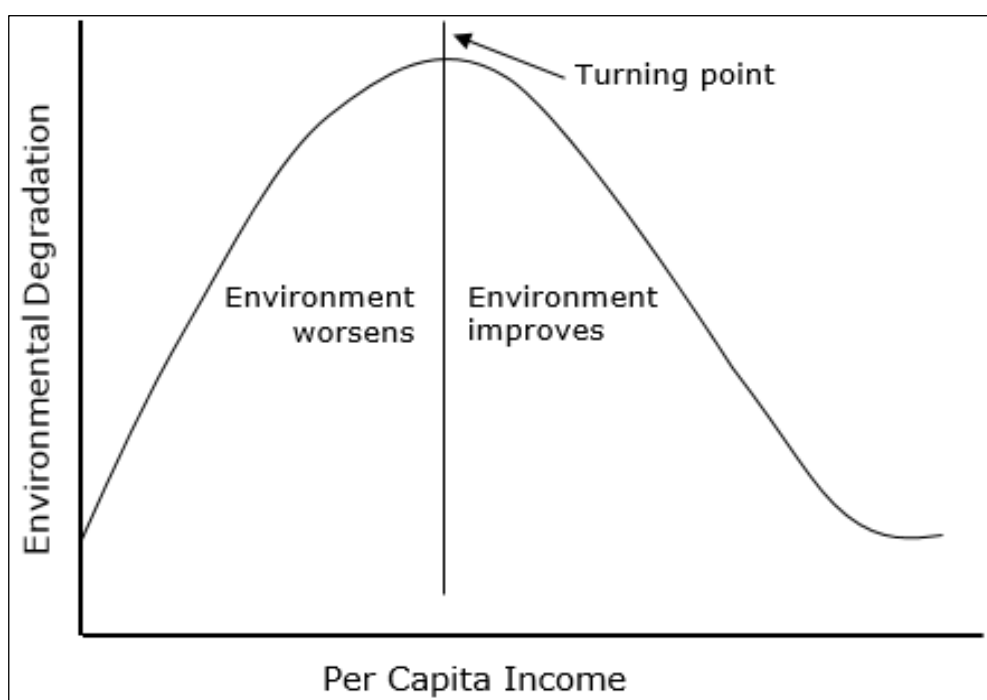


(圖 1-2：全球平均溫度相對於 1961-1990 所增加溫度 (攝氏度°C))

(資料來源：Hadley Centre (HadCRUT4) /

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>)

人們普遍認為，當國家經濟成長時，它污染程度也同時在增加，而在這競爭力強大的時代，不論是科技發展或是經濟發展，都是各個國家的首要發展目標，惟生態環境的不可逆，導致許多協議的出現。本文期望藉由世界銀行跨國資料，探討全球211個國家於2004年~2014年GDP(國內生產總值)、製造業進出口值、森林面積、可耕種地面積、農業占比、核能發電占比、FDI(外國直接投資)，對碳排放量的影響，並將此211個國家詳細區分為未開發國家、開發中國家、已開發國家，探討不同經濟開發程度對於環境污染的輕重，並檢驗統計結果是否符合環境庫茲涅茨曲線理論，如圖1-3得知，當人均收入到達一定程度，環境污染程度會轉而減輕。另外，研究將以環境庫茲涅茨曲線理論找出其轉折點，並且藉由統計結果告訴這個社會大眾，經濟快速發展的背後，人們需要共同承擔的後果、環境保護與經濟轉型的重要性。



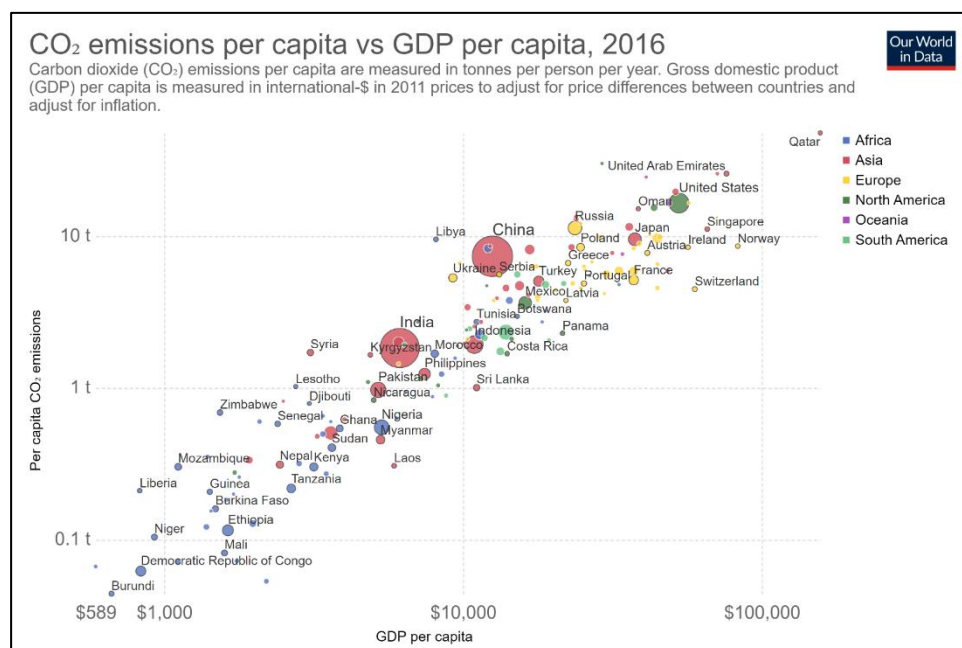
(圖 1-3：環境庫茲涅茨曲線)

(資料來源：維基百科/[https://en.wikipedia.org/wiki/Kuznets\\_curve](https://en.wikipedia.org/wiki/Kuznets_curve))

## 貳、文獻回顧

### (一) 理論背景

#### 1-1. GDP (國內生產總值)對二氧化碳排放量之影響



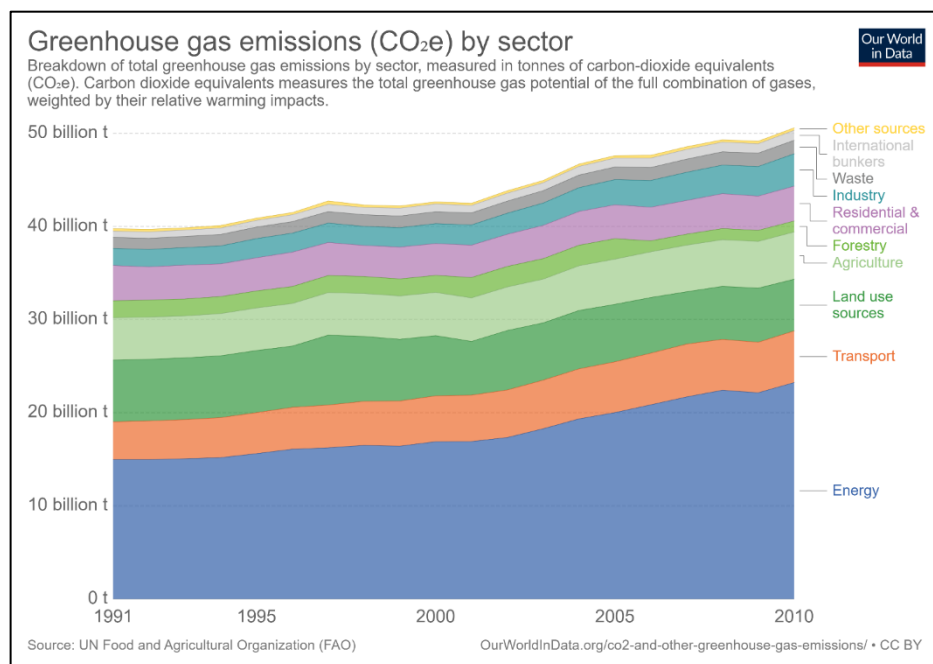
(圖 2-1：全球各地排放的碳量)

(資料來源：Global Carbon Project, Maddison, 2017 /

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>)

由圖 2-1 顯示，從歷史上看，人均二氧化碳排放量與人均國內生產總值之間存在很強的相關性，從左下方低二氧化碳排放和低 GDP 發展程度的國家，向右上方，高二氧化碳排放和高 GDP 發展程度的國家移動。二氧化碳排放量增加視為發展和經濟繁榮的後果。本文將探討 GDP (國內生產總值)對二氧化碳排放量是否具有正向影響。

## 1-2. 森林面積、可耕種地面積、農業占比、核能發電占比對二氧化碳排放量之影響



(圖 2-2 :全球二樣化碳排放量)

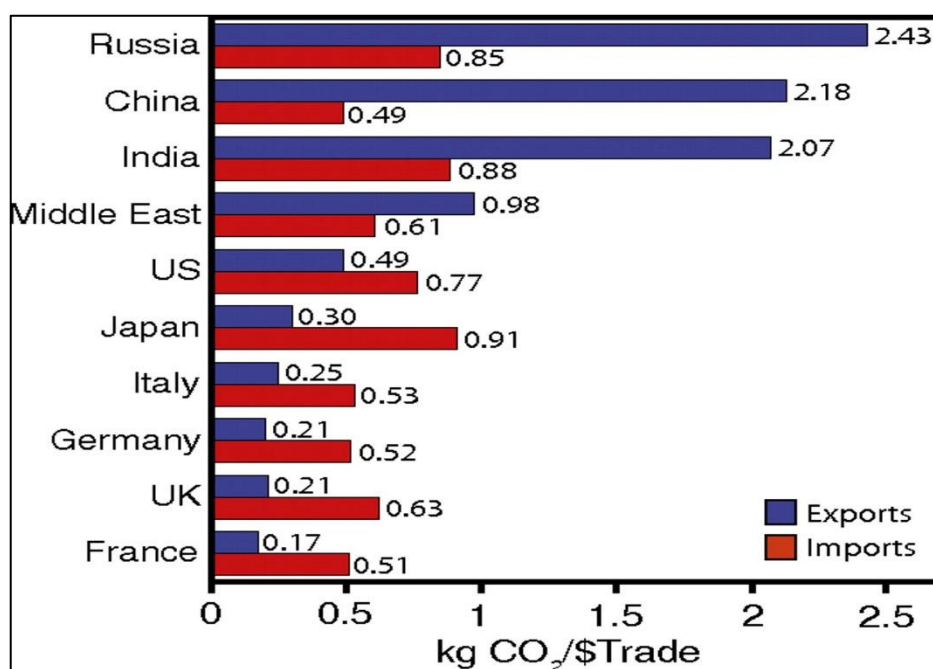
(資料來源 : UN Food and Agriculture Organization (FAO)/

<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>)

由圖 2-2 顯示，農業，林業和土地利用占全球溫室氣體排放量的四分之一左右，與 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 研究結果相同。由於全球人口不斷地增長，所需的糧食產量隨之提升，對食物的需求增加導致農業用地的擴張，而農業用地往往擴展到原來的森林區域，並在砍伐過程中釋放二氧化碳。其次，全球經濟成長不僅導致糧食需求增加，近幾十年來，不斷增長的中產階級導致全球肉類消費量大幅增加，畜牧業是溫室氣體排放的主要原因之一。本文將探討森林面積對二氧化碳排放量是否具有負向影響；可耕種地面積、農業占比對二氧化碳排放量是否具有正向影響。

在全球二氧化碳排放量中，能源消耗所排放之二氧化碳占比最高，能源消耗包含:電力生產、石油和天然氣能源消耗等。因此，本文將探討核能發電占比對二氧化碳排放量是否具有負向影響。

### 1-3. 製造業進出口值對二氧化碳排放量之影響



(圖 2-3：部分國家貿易的碳強度)

(資料來源：<https://www.pnas.org/content/107/12/5687.full>)

就貿易的碳強度而言，該國家貿易的結構是其影響關鍵因素之一。由圖 2-3 顯示，部分國家的進口和出口的碳強度（每貿易一美元所產生 kg CO<sub>2</sub>）。圖中，俄羅斯、中國、印度、中東出口的商品平均具有高碳強度，反映出其出口商品通常是製成品，當地產業可能以製造業為主。相比之下，美國、日本、義大利、德國、英國、法國出口的商品平均具有較低碳強度，反映出其服務出口相對於重工業出口的比例更高，當地產業可能以低耗能及服務業為主。因此，本文將探討製造業進口與出口值，對二氧化碳排放量是否具有負向及正向之影響。

### 1-4. FDI (外國直接投資)對二氧化碳排放量之影響

國際貿易的全球化，造成各國通常不會把高污染產業設立在自己國家，因此 FDI (外國直接投資)升高，反映出當地產業可能以高耗能、高污染產業為主，因此，本文將探討 FDI (外國直接投資)，對二氧化碳排放量是否具有正向之影響。

## (二) 實證文獻 (實證文獻詳細之整理內容，請詳見表 1~表 16)

### 一、二氧化碳排放量之於各國 GDP 經濟成長關係研究

1. 邱郁雯(2011)，論文題目：探討人均 GDP 對碳排放量之直接與間接影響研究-以歐盟 27 國為例。使用固定效果模型、隨機效果模型等估計方法，研究結果顯示，當人均 GDP 達到 22%時，會開始趨緩，已開發國家的能源強度越大，人均 GDP 就越高，但再生能源的利用比例也有所提升。
2. 拜語柔(2012)，論文題目：研究二氧化碳排放量與經濟發展相關指標的關係。使用單一資料檢定等估計方法，研究結果顯示，台灣二氧化碳與經濟發展並無呈現 EKC 之倒 U 型關係，而係呈現 U 型曲線。本研究顯示台灣目前二氧化碳排放量與經濟發展呈正向關係。
3. 陳明勇(2017)，論文題目：以拔靴追蹤方法探討二氧化碳排放量與經濟成長的 Granger 因果關係。使用 Granger 因果關係檢定等估計方法，研究結果顯示，一、CO<sub>2</sub> 排放量單向領先影響 GDP 成長率的國家，其主要經濟來源以工業機械製造和紡織為主。二、GDP 成長率與 CO<sub>2</sub> 排放量雙向影響之因果關係的國家，其主要經濟來源由非工業及多樣化服務業、農業。三、CO<sub>2</sub> 與 GDP 並無直接互相影響之因果關係之國家，其經濟產業結構已改變，重工業已超過輕工業，擁有現代化的工業，私人消費成為帶動經濟發展的力量。

### 二、GDP 等因素與二氧化碳排放量之關係研究

1. 林柏豪(2018)，論文題目：研究我國經濟成長、能源開發和使用二氧化碳排放量(即環境品質維護)等三項變數間的相關性和變動趨勢。使用 OLS 簡單回歸分析等估計方法，研究結果顯示，能源總需求對每人實質 GDP 有負向的影響關係，可能是與產業結構與能源使用習慣有關。而能源部門(即發電產業)的能源使用，利用發電量反推得到的能源投入數量，與能源局統計報告內容相近。最後利用 EKC 假說分析台灣於 1990 年至 2015 年間的每人實質 GDP 與每人 CO<sub>2</sub> 排放關係的圖形關係，顯示為倒 U 型曲線，並且在加入能源總需求之影響效果後，也同樣呈現倒 U 型曲線。
2. 蔣寧(2013)，論文題目：GDP、出口、能源消耗與二氧化碳排放之因果關係，以中國大陸和台灣為例。使用 Granger 因果關係檢定等估計方法，研究結果顯示，具有單向因果關係為：台灣之出口對 GDP 及能源消耗及 CO<sub>2</sub> 排放、台灣之 GDP 對能源消耗。中國大陸之出口及能源消耗對 GDP、中國大



陸之 CO2 排放對 GDP、中國大陸之能源消耗和 CO2 排放對出口。具有雙向因果關係為:台灣的 GDP 對 CO2 排放。

3. 黃盈如(2017)，論文題目：經濟成長、二氧化碳排放、能源消耗、核能與再生能源消耗之實證分析-以台灣為例。使用 Granger 因果關係檢定等估計方法，研究結果顯示，具有單向因果關係為：CO2 排放量對再生能源消耗量、核能消耗量對 CO2 排放量。具有雙向因果關係為：能源消耗與 CO2 排放量、經濟成長與 CO2 排放量。沒有顯著因果關係為：再生能源消耗量與核能消耗量對經濟成長。
4. 王美玉(2013)，論文題目：金磚四國和印度尼西亞的二氧化碳排放、外國直接投資、國內生產總值和能源消耗。使用複迴歸模型等估計方法，研究結果顯示，只有印度完全不適合該模型。巴西，俄羅斯和印度尼西亞之能源消耗、FDI、GDP、人口、經濟結構都對二氧化碳排放有影響。至於中國，只有人口對二氧化碳排放沒有影響，其他變數均對二氧化碳排放有影響。
5. 金相智(2014)，論文題目：研究台灣及南韓的 GDP、出口和能源消耗三個指標中各自的兩兩之間的關係。使用 Granger 因果關係檢定等估計方法，研究結果顯示，由於經濟情勢不同，每個國家應該有不同的政策。由於限制能源消耗將對其他經濟應變數產生負面影響，兩國政府不應該考慮節能政策。
6. 溥慧欣(2013)，論文題目：研究泰國及馬來西亞的 GDP、出口和能源消耗三個指標中各自的兩兩之間的關係。使用單根檢定等估計方法，研究結果顯示，GDP、出口和能源消耗兩兩之間呈現雙向因果關係，雖然經濟發展(出口)改變了 GDP，卻同時有環境污染的問題(CO2 排放)，而如何創造雙贏的局面也是兩國政府應該去面對的課題。
7. 張淑玲(2013)，論文題目：以格蘭傑因果檢驗探討 GDP、能源消耗與二氧化碳排放之間的關係：以香港和新加坡為例。使用格蘭傑因果關係檢驗等估計方法，研究結果顯示，透過 VECM 模型進行的 Granger 因果關係結果表明，香港具有二氧化碳排放對能源消耗與 GDP 的單向因果關係。此外，GDP 與能源消耗之間存在雙向因果關係。新加坡的結論證實，二氧化碳排放對 GDP、能源消耗都存在單向因果關係。此外，結果還表明能源消耗和二氧化碳排放之間存在雙向因果關係。
8. El'eazar Zerbo (2015)，論文題目：撒哈拉以南非洲國家的二氧化碳排放量、成長、能源消耗和對外貿易。使用格蘭傑因果關係檢驗等估計方法，研究結果顯示，能源消耗在短期內對博茨瓦納、肯尼亞、南非和多哥的二氧化碳排放量產生影響。貿易開放不足以改善肯尼亞的環境質量，而南非也是如此。

肯尼亞依賴能源，而喀麥隆、塞內加爾、南非和多哥的經濟增長和能源消費中立。

9. Hakan ÇETİNTAS\* ve Murat SARIKAYA\*\* (2015)，論文題目：美國和英國的二氧化碳排放，能源消耗和經濟增長：ARDL 方法。使用共整合檢定等估計方法，研究結果顯示，一、具單向因果關係：英國的 CO2 排放對經濟成長、美國的能源消耗對 CO2 排放。二、在兩個國家中，皆無發現能源消耗與經濟成長具有因果關係。三、不論短期或長期，經濟成長與 CO2 排在英國呈正相關，而在美國沒有任何影響。四、能源消耗對 CO2 排在英、美兩國皆呈正相關，而核能發電對 CO2 排放則皆呈負相關。
10. Rodrigo Elizeche(2015)，論文題目：GDP、油價、匯率和貿易平衡對巴拉圭出口台灣影響的經濟學分析。使用複迴歸模型等估計方法，研究結果顯示，GPD、匯率、油價、進口和出口等變數對台灣從巴拉圭進口的產品數量都有很大的影響。在國際貿易中，所有宏觀經濟的因素都會影響產品的最終價格，而價格的變動會影響買家的意願。

### 三、環境庫茲涅茨曲線理論研究

1. 石瑋先(2014)，論文題目：GDP 能源消耗與 CO2 排放之間的因果關係與環境願志耐曲線之研究，以八大工業國為例。使用 Granger 因果關係檢定、OLS 等估計方法，研究結果顯示，一、符合環境庫茲涅茨曲線：德國與俄羅斯，日本與之相反。二、具有負項因果關係為：法國、德國與美國之 GDP 對人均能源消耗，德國、義大利與美國 GDP 對 CO2 排放。不存在因果關係為：八大工業國家之人均能源消耗與 CO2 排放。加拿大、日本之人均 GDP、人均能源消耗、CO2 排放。
2. 王淑美、胡均立、謝承憲(2010)，論文題目：研究台灣地區移動污染源與空氣品質之環境願志耐曲線。使用追蹤資料等估計方法，研究結果顯示，SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 及 CO 三項空氣污染物質而言，台灣地區在 2001~2008 年間，三項污染物的排放量皆隨著平均家戶所得增加而呈現成長同步增加，達特定所得門檻水準後發生反曲現象，使得空氣污染物質在反曲點後，隨著所得增加而逐漸減少。
3. DAVID I. STERN (2004)，論文題目：環境庫茲涅茨曲線的上升與下降。使用固定效果模型等估計方法，研究結果顯示，在成長較慢的經濟體中，減少技術變革的 CO2 排放量，可以克服人均收入增加對排放的規模效應。相比之下，在成長較快的中等收入經濟體中，收入增加的影響超過了技術變革所

減少 CO2 排放量的效果。本文根據文章中所提供的證據表示，應使用更嚴格的時間序列或追蹤資料分析法對環境庫茲涅茨曲線進行統計分析。

## 參、實證方法

### (一) 實證模型

(1) OLS:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 X_{5it} + \beta_6 X_{6it} + \beta_7 X_{7it} \\ + \beta_8 X_{8it} + \beta_9 X_{9it} + \theta_i + \varepsilon_{it}$$

(2) 固定效果模型:

$$\ln(E_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP_{it}/Pop_{it}) + \beta_2 [\ln(GDP_{it}/Pop_{it})]^2 + \beta_3 X_{3it} \\ + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 X_{5it} + \beta_6 X_{6it} + \beta_7 X_{7it} + \beta_8 X_{8it} + \beta_9 X_{9it} \\ + \sum_{t=2004}^{2014} \delta_t T_t + \theta_i + \varepsilon_{it}$$

其中， $Y_{it}$  為 211 個國家  $i$  在不同時間  $t$  的碳排放量(人均公噸)； $X_{1it}$  為上述國家的人均 GDP (美元)； $X_{2it}$  為上述國家的人均 GDP 平方 (美元)； $X_{3it}$  為外國直接投資(淨流入)； $X_{4it}$  為核能發電占比(占總發電的百分比)； $X_{5it}$  為農業占比(占土地面積的百分比)； $X_{6it}$  為可耕種地面積(占土地面積的百分比)； $X_{7it}$  為森林面積(占土地面積的百分比)； $X_{8it}$  為製造業出口值(占商品出口的百分比)； $X_{9it}$  為製造業進口值(占商品進口的百分比)。此外， $\theta_i$  為各國未被觀察且不隨時間變動的因素效果，例如：氣候地形、宗教文化。 $\varepsilon_{it}$  為各國未被觀察且隨時間變動的因素效果，例如：政府政策。

其中，應變數為 CO2 排放量，關鍵解釋變數為  $\ln(GDP_{it}/Pop_{it}) \cdot \ln\left(\frac{GDP_{it}}{Pop_{it}}\right)^2$ 。

解釋變數： $X_{1it}$  為人均國內生產總值 (美元) 取對數，人均所得增加，人民會去追求更舒適的生活，當生活水準上升的同時，CO2 排放量因此而增加，例如：購買汽車、開冷氣等，故我們預測人均 GDP (美元) 取對數對 CO2 排放量，應具有正向的影響( $\beta_1 > 0$ )。

$X_{2it}$  為人均國內生產總值 (美元) 的平方取對數，初期人均所得增加，人民會去追求更舒適的生活，當生活水準上升的同時，CO2 排放量因此而增加，但經某處轉折後，人民生活水準提高，對於環保意識會更加重視，使得企業需提升

技術以提高能源使用效率，進而減少 CO2 排放量，故我們預測人均 GDP(美元)平方取對數對 CO2 排放量，應具有負向的影響( $\beta_2 < 0$ )。

$X_{3it}$  為外國直接投資(淨流入)，外國直接投資升高，反映出當地產業可能以高耗能及高污染產業為主，因各國通常不會把高污染產業設立在自己國家，故我們預測外國直接投資對 CO2 排放量，應具有正向的影響( $\beta_3 > 0$ )。

$X_{4it}$  為核能發電占比(占總發電的百分比)，核能發電占比升高，能減少火力、燃煤等電力生產，在能源消耗時，所排放大量的二氧化碳，故我們預測核能發電占比對 CO2 排放量，應具有負向的影響( $\beta_4 < 0$ )。

$X_{5it}$ 、 $X_{6it}$  為農業占比(占土地面積的百分比)及可耕種地面積(占土地面積的百分比)，農業占比及可耕種地面積增加，往往擴展到原來的森林區域，並在砍伐過程中釋放二氧化碳，且植物的光合作用，能有效地減少大氣中的 CO2，砍伐森林造成植物大量減少，故我們預測可耕種地面積及農業占比對 CO2 排放量，應具有正向的影響( $\beta_5$ 、 $\beta_6 > 0$ )。

$X_{7it}$  為森林面積(占土地面積的百分比)，森林面積越大，越能有效地藉由植物的光合作用，減少大氣中的 CO2，故我們預測森林面積對 CO2 排放量，應具有負向的影響( $\beta_7 < 0$ )。

$X_{8it}$  為製造業出口值(占商品出口的百分比)，製造業出口值越高，代表其出口商品通常是製成品，當地產業可能以製造業為主，生產過程中，消耗能源會產生大量的 CO2，進而增加 CO2 排放量，故我們預測製造業出口值(美元)對 CO2 排放量，應具有正向的影響( $\beta_8 > 0$ )。

$X_{9it}$  為製造業進口值(占商品進口的百分比)，製造業進口值越高，反映出當地產業可能以低耗能及服務業為主，其服務、原料等出口相對於製造業出口的比例更高，故我們預測製造業進口值(美元)對 CO2 排放量，應具有負向的影響( $\beta_9 < 0$ )。

## (二) 計量方法

(1) 固定效果模型:

$$\begin{aligned} \ln(E_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP_{it}/P_{it}) + \beta_2[\ln(GDP_{it}/P_{it})]^2 + \beta_3X_{3it} + \beta_4X_{4it} \\ & + \beta_5X_{5it} + \beta_6X_{6it} + \beta_7X_{7it} + \beta_8X_{8it} + \beta_9X_{9it} + \sum_{t=2004}^{2014} \delta_t T_t \\ & + \theta_i + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

(2) 隨機效果模型:

$$\begin{aligned} \ln(E_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP_{it}/P_{it}) + \beta_2[\ln(GDP_{it}/P_{it})]^2 + \beta_3X_{3it} + \beta_4X_{4it} \\ & + \beta_5X_{5it} + \beta_6X_{6it} + \beta_7X_{7it} + \beta_8X_{8it} + \beta_9X_{9it} + \alpha + uit + \pi_{it} \end{aligned}$$

橫斷面與時間序列資料的衡量，資料間可能存在異質性，將造成無效率的情形，且由於此實證模型缺乏許多未被觀察的因素，如宗教信仰、氣候地形、政府政策等，均對二氧化碳排放具有影響，若以 OLS 分析法容易造成嚴重偏誤，因此，以下將使用 Panel Data 模型的優點去處理橫斷面資料的異質性與時間序列資料的相關問題，先後以固定效果模型和隨機效果模型來分析建構資料。首先使用固定效果模型，允許控制個別國家的效果，固定未被觀察的項目，使它們不會受到時間序列的影響，其中 $\theta_i$ 為各國未被觀察且不隨時間變動的因素效果， $\varepsilon_{it}$ 為各國未被觀察且隨時間變動的因素效果，以此縮小誤差值，再進行分析，並逐漸增加解釋變數，加以觀察其效果是否對 CO2 具有影響。再使用隨機效果模型，隨機效果模型假設母體間相似性高，以隨機抽取的方式分析各項數據，並且允許變數之間的差異性與時間差異的存在，其中  $uit$  為國家間之差異性， $\pi_{it}$  為時間之差異性。最後再進行 Hausman Test 檢定(Hausman, 1978)，以確認該變數適合之模型。

## 肆、資料與樣本

本文皆使用 World bank 於 2004~2014 年 211 個國家的人均國內生產總值、FDI(外國直接投資)、核能發電占比、農業占比、可耕種地面積、森林面積、製造業進出口值，去探討其對碳排放量的影響。並將此 211 個國家詳細地區分為未開發國家、開發中國家、已開發國家，探討不同開發程度對於環境污染的輕重，並檢驗統計結果是否符合環境庫茲涅茨曲線理論。

表 17 至表 19 為相關變數敘述統計量。二氧化碳排放量、人均國內生產總值、核能發電占比、可耕種地面積、製造業進出口值之平均數，由已開發國家最高，開發中國家次高，未開發國家最低。FDI(外國直接投資)，由已開發國家最高，未開發國家次高，開發中國家最低。農業占比、森林面積由未開發國家最高，開發中國家次高，已開發國家最低。其中，二氧化碳排放量最高為 2006 年開發中國家 Qatar 的 62.82354 (人均公噸)，最低(排除資料為 0)為 2005 年未開發國家 Burundi 的 0.020747 (人均公噸)。人均國內生產總值最高為 2014 年已開發國家 Luxembourg 的 119225.38 (美元)，最低(排除資料為 0)為 2014 年 Sub-Saharan Africa 的 127.4296648 (美元)。FDI(外國直接投資) 最高為 2007 年已開發國家 Malta 的 451.7155(淨流入)，最低為 2007 年已開發國家 Luxembourg 的 -58.322880479128(淨流入)。核能發電占比最高為 2004 年開發中國家 Lithuania 的 80.53541%(占總發電的百分比)。農業占比最高為 2005 年開發中國家 Uruguay 的 84.7446006%(占土地面積的百分比)，最低(排除資料為 0)為 2007 年開發中國家 Suriname 的 0.448717949%(占土地面積的百分比)。可耕種地面積最高為 2004 年開發中國家 Bangladesh 的 62.55666%(占土地面積的百分比)，最低(排除資料為 0)為 2004 年已開發國家 Greenland 的 0.002192715%(占土地面積的百分比)。森林面積最高為 2004 年開發中國家 Suriname 的 98.55769%(占土地面積的百分比)，最低(排除資料為 0)為 2004 年已開發國家 Greenland 的 0.000535997%(占土地面積的百分比)。製造業出口值最高為 2012 年開發中國家 Panama 的 96.99726%(占商品出口的百分比)，最低(排除資料為 0)為 2005 年未開發國家 Mauritania 的 0.00049479%(占商品出口的百分比)。製造業進口值最高為 2005 年開發中國家 Jordan 的 373.22817%(占商品進口的百分比)，最低(排除資料為 0)為 2007 年開發中國家 Iraq 的 0.032820749%(占商品進口的百分比)。

## 伍、實證結果

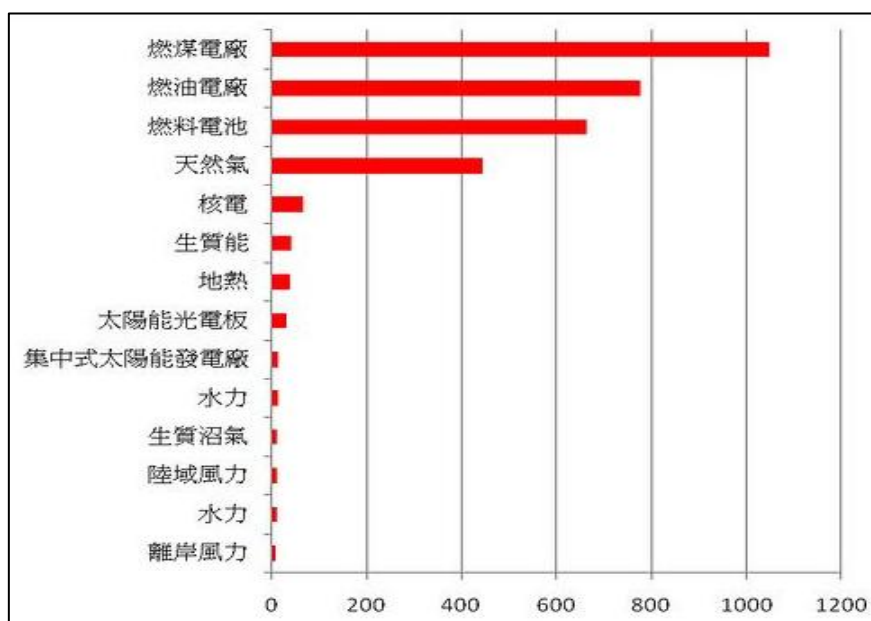
因附錄 2，全部國家之隨機效果模型，與其表 20，全部國家之固定效果模型結果略有不同之處，所以我們使用 Hausman Test 來檢定，結果於附錄 3 所示:  $\text{Prob} > \chi^2$ ，表示一開始假設的隨機效果模型所犯棄真錯誤，也就是  $\alpha$  錯誤，所以拒絕原假設，採用固定效果模型。因附錄 4，未開發國家之隨機效果模型，與其表 21，未開發國家之固定效果模型之結果略有不同之處，所以我們使用 Hausman Test 來檢定未開發國家所適用之模型，結果於附錄 5 所示: 檢定結果為負值，表示一開始假設的隨機效果模型不成立，因此必須採用固定效果模型。因附錄 6，開發中國家之隨機效果模型，與其表 22，開發中國家之固定效果模型結果大致相同，只有農業占比對二氧化碳的結果不同，為了確認哪一個模型較合適，我們使用 Hausman Test 來檢定，結果於附錄 7 所示:  $\text{Prob} > \chi^2$ ，所以拒絕原假設，採用固定效果模型。因附錄 8，已開發國家之隨機效果模型，與表 23，已開發國家之固定效果模型結果略有不同之處，所以我們使用 Hausman Test 來檢定，結果於附錄 9 所示:  $\text{Prob} > \chi^2$ ，所以拒絕原假設，採用固定效果模型。

因為上述四個 Hausman Test 檢定皆為拒絕虛無假設，因此研究皆採用固定效果模型。本節將從人均國內生產總值、外國直接投資、核能發電占比、可耕種地面積、森林面積、製造業出口、製造業進口的固定效果模型分析，藉由檢定統計量-P 值法，判斷各個變數是否顯著。並進而區分已開發國家、開發中國家以及未開發國家的固定效果模型，分析不同區域之變數對於二氧化碳之影響是否具有相同結果，並探討其背後原因。

1. 據實證結果，結果如表 20 所示: 人均國內生產總值，與二氧化碳呈現正相關且具有 1% 顯著水準，經過研究後發現， $\beta_1$  為  $0.857 > 0$ ，符合當初我們預期的結果 ( $\beta_1 > 0$ )，人均國內生產總值增加 1% 時，二氧化碳排放會上升 0.857%。本研究也使用人均國內生產總值取對數的平方來判斷人均國內生產總值與二氧化碳關係的曲度，發現人均國內生產總值的平方與二氧化碳呈現穩定且顯著的負相關， $\beta_2$  為  $-0.0414 < 0$ ，因此圖形呈現倒 U 形式，符合環境庫茲涅茨曲線假說。我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家，結果如表 21、22、23 所示，皆呈現  $\hat{\beta}_1 > 0$ 、 $\hat{\beta}_2 < 0$ ，表示人均國內生產總值對碳排放量的影響係數皆為正斜率且遞減。另外，全部國家之轉折點為 10.3502415；未開發國家之轉折點為 9.08270677；開發中國家之轉折點為 14.3581081；已開發國家之轉折點為 10.0818966。

2. 據實證結果，結果如表20所示:外國直接投資，與二氧化碳不具有顯著水準，違反當初我們預期的結果。因此我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家判斷其違反假設的原因。研究後發現，結果如表21、22、23所示:(1.) 外國直接投資，與二氧化碳在未開發國家不具有顯著水準，因未開發國家通常沒有足夠的技術、產能、人力去滿足高技術的製造業的需求。(2.) 外國直接投資，與二氧化碳在開發中國家呈現正相關且具有10%顯著水準，表示當外國投資增加10%時，二氧化碳排放會上升0.00109%，此區域政府致力於發展、活絡經濟，且通常具有良好的技術、產能、便宜的人力、政策去滿足高技術的製造業的需求。(3.) 外國直接投資，與二氧化碳在已開發國家不具有顯著水準，我們猜測，多數已開發國家對於環保意識會更加重視，且其政府政策將更嚴格地限制企業能源的使用效率以及污染標準。

3. 據實證結果，結果如表 20 所示: 核能發電占比，與二氧化碳不具有顯著水準，違反當初我們預期的結果。因此我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家判斷其違反假設的原因。研究後發現，結果如表 21、22、23 所示:(1.) 核能發電占比，與二氧化碳在未開發國家不具有顯著水準，我們猜測，因未開發國家產業通常以第一級產業為主，很少有資金、資源能設立核能電廠，對此地區二氧化碳的影響也較無影響。(2.) 核能發電占比，與二氧化碳在開發中國家與已開發國家皆不具有顯著水準。圖 3 為各類發電技術碳足跡比較，根據 Sovacool (2008)，保守以平均值與其他再生能源相比較，核能發電顯著屬於高碳能源。Jacobsen (2009)，指出核電的溫室氣體排放量將高達每度 180 克二氧化碳當量，排放量為其他再生能源 3 倍以上。核能在能源節約成效上，並不是最佳解決之道。





(圖 3：各類發電技術碳足跡比較(公克二氧化碳當量/每度電)

(資料來源：<https://e-info.org.tw/node/65853>)

4. 據實證結果，結果如表 20 所示：農業占比，與二氧化碳呈現正相關且具有 1% 顯著水準。經過研究後發現， $\beta_5$  為  $0.0119 > 0$ ，符合當初我們預期的結果 ( $\beta_5 > 0$ )，人均國內生產總值增加 1% 時，二氧化碳排放會上升 0.0119%。我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家，結果如表 21、22、23 所示。(1.) 農業占比，與二氧化碳在未開發國家不具有顯著水準，因部份未開發國家土地貧瘠，無法提供足夠的水源種植更多作物。(2.) 農業占比，與二氧化碳在開發中國家呈現正相關且具有 1% 顯著水準，開發中國家為了提供更多糧食給其不斷增長的人口數，往往將農業用地擴展到原來的森林區域，並在砍伐過程中釋放二氧化碳，且減少原本森林植物吸收二氧化碳的效用。(3.) 農業占比，與二氧化碳在已開發國家不具有顯著水準，因多數已開發國家以第二、三級產業為主，農業占比較少。
5. 據實證結果，結果如表 20 所示：可耕種地面積，與二氧化碳不具有顯著水準，違反當初我們預期的結果。因此我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家判斷其違反假設的原因。研究後發現，結果如表 21、22、23 所示：(1.) 可耕種地面積，與二氧化碳在未開發國家不具有顯著水準，因部份未開發國家土地貧瘠，即便有再多可耕地，也沒有足夠的水源能耕種更多作物。(2.) 可耕種地面積，與二氧化碳在開發中國家不具有顯著水準，開發中國家致力於經濟發展與活絡，多數土地用來發展各項產業，可耕種地一定寥寥可數。(3.) 可耕種地面積，與二氧化碳在已開發國家不具有顯著水準，現今社會寸土寸金，且已開發國家土地多數用來開發以活絡經濟，可耕種地寥寥可數。
6. 據實證結果，結果如表 20 所示：森林面積，與二氧化碳不具有顯著水準，違反當初我們預期的結果。因此我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家判斷其違反假設的原因。研究後發現，結果如表 21、22、23 所示：(1.) 森林面積，與二氧化碳在未開發國家呈現負相關且具有 10% 顯著水準。當森林面積增加 10% 時，二氧化碳會減少 0.0221%，未開發國家通常很少有資金、資源能進行開發，森林的增加也表示該國的開發地較少，且能有更多的植物進行光合作用吸收二氧化碳。(2.) 森林面積，與二氧化碳在開發中國家不具有顯著水準，開發中國家致力於經濟發展與活絡，砍伐樹林來發展各項產業，導致森林面積寥寥可數。(3.) 森林面積，與二氧化碳在已開發國家呈現負相關且具有 1% 顯著水準。當森林面積增加 1% 時，二氧化碳會減少 0.169%，當今已有越來越多國家重視環境保育，許多國家已制訂相關法規，如綠化覆蓋率標準、設立自然保護區等，如：新加坡的綠

化覆蓋率約達 50%，也劃設了四個自然保護區，森林和保護區的面積約占國土的 23%。

7. 據實證結果，結果如表 20 所示：製造業出口，與二氧化碳呈現正相關且具有 1% 顯著水準。經過研究後發現， $\beta_8$  為  $0.000941 > 0$ ，符合當初我們預期的結果 ( $\beta_8 > 0$ )，人均國內生產總值增加 1% 時，二氧化碳排放會上升 0.000941%。我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家，結果如表 21、22、23 所示。(1.) 製造業出口，與二氧化碳在未開發國家不具有顯著水準，因我們所統計的未開發國家多數以第一級產業為主，第二級產業與第三級產業所占比例極少。(2.) 製造業出口，與二氧化碳在開發中國家不具有顯著水準，我們猜測其原因為環保意識抬頭與科技的進步，許多國家對於污染排放的限制愈加嚴格，低耗能生產機器也漸漸成為主流，因此製造業污染相較於早些年代，已減緩許多。(3.) 製造業出口，與二氧化碳在已開發國家呈現正相關，且具有 10% 顯著水準，因多數已開發國家以第二、三級產業為主，製造業出口值越高，生產過程中，消耗能源會產生大量的二氧化碳，進而增加二氧化碳排放量。
8. 據實測結果，結果如表 20 所示：製造業進口，與二氧化碳不具有顯著水準，違反當初我們預期的結果。因此我們進而將全球國家區分為未開發國家、開發中國家以及已開發國家判斷其違反假設的原因。研究後發現，結果如表 21、22、23 所示：(1.) 製造業進口，與二氧化碳在未開發國家呈現正相關且具有 10% 顯著水準。當製造業進口增加 10% 時，二氧化碳會上升 0.00121%，因我們所統計的未開發國家多數以第一級產業為主，第二級產業與第三級產業所占比例極少，因此製造業進口商品增加反而會進而增加此地區二氧化碳排放量，如汽車進口增加導致二氧化碳排放增加。(2.) 製造業進口，與二氧化碳在開發中國家、已開發國家皆不具有顯著水準，嚴格來說，廣義上當一個國家製造業進口越多，反映出此國其他產業，如：服務業，相對於製造業的比例更高，當地產業可能以低耗能及服務業為主，但狹義上，國家的人口數、面積、天然資源等，都會影響其製造業進口的多寡，因此無法由製造業進口精確地判斷該國的產業概況。

## 陸、研究結論

經本文實證，人均所得增加，二氧化碳排放量因此而增加，而人均國內生產總值取對數的平方增加，二氧化碳排放量因此而減少，整體呈現倒 U 字型，跟我們當初預期的結果相同，符合環境庫茲涅茨曲線假說，也顯示當人們經濟發展至一定程度時，會因環保意識抬頭進而提升生產技術來降低二氧化碳的排放量。

本文在統計 211 個國家的數據後，特別將其區分為未開發國家、開發中國家、已開發國家，探討在不同經濟體下所造成不同的影響，如：農業占比影響二氧化碳在此三個不同地區有著不同的結果，在未開發國家與已開發國家，因其本身天然資源與產業結構影響，農業占比與二氧化碳不具有顯著水準，但在開發中國家，因其發展需求，農業占比與二氧化碳呈現正相關且具有 1% 顯著水準。由上述區分國家概況進行分析的方法，我們得知政府政策應依自身國家概況，不可盲目追求在他國頗有成效之政策，反造成無效、不良的結果。

以下舉例我們針對研究結果所延伸出對政府政策制定的建議，電力發展是一個國家發展蓬勃經濟的必要條件，近年來許多國家在火力發電影響空污、核能發電的核廢料問題與綠色能源發展上有諸多爭議，以台灣為例，政府提倡綠色能源發展造成電費提高的風險，抑制核能發電造成產業用電不足的危機，火力發電又造成空氣污染嚴重，諸多支持核電可作為替代火力發電進而減少碳排放之民眾，抱持著「核電可以作為火力發電與再生能源之間過渡選項」的想法，但由我們的實證結果顯示，核能發電占比，與二氧化碳不具有顯著水準，這項結果，代表核能發電增加，碳排放量並不會減少，且核能在能源節約成效上，並不是最佳解決之道。無論何種發電方式，均會帶來爭議，火力發電雖然影響空污，但成本最便宜；核能發電雖然造成核廢料與輻射問題，但效率最好；綠色能源發電雖然最環保，但在效率方面遠不及其餘兩者，我們認為政府應依據國家經濟體系與產業概況決定最好的發電比例，並不是一昧的追求單方，造成其缺點最大化。

隨著世界各地如今經濟快速成長，碳排放的污染和全球暖化日漸加劇，各國應在發展經濟之時，停下腳步檢視是否兼顧了保護地球的責任。而現今已有不少環保意識抬頭，許多國家及環境科學家們近年也已開始著手進行，如：塑膠袋減量、日光節約等。我們也能利用隨手的小舉動，來減少二氧化碳的排放，例如：隨手關燈、減少冷氣的開啟、多搭乘大眾運輸工具等，期盼能因此研究帶給現今的環境污染議題有所啟發，政府部門及人民都能盡自己的一份心力，讓人民有更好的生活環境。

## 柒、參考文獻：

1. 王美玉.(2013) , “CO2 Emission, FDI, GDP, and Energy Consumption in BRIC Countries and Indonesia” , 全國博碩士論文網。
2. 王淑美、胡均立、謝承憲.(2010), 「探討台灣地區移動污染源與空氣品質之環境願志耐曲線，以台灣為例」, 農業與資源經濟台灣農業與資源經濟學會 7:1 (2010), 55-72 。
3. 石瑋先.(2014), 「GDP 能源消耗與 CO2 排放之間的因果關係與環境願志耐曲線之研究，以八大工業國為例」, 全國博碩士論文網。
4. 朱江玲、鄭天立、方精雲.(2013), “碳排放量與社會經濟發展”, 社會與科學。
5. 金相智.(2014) , “研究台灣及南韓的GDP、出口(export)和能源消耗(Energy consumption)三個指標中各自的兩兩之間的關係”, 全國博士論文網。
6. 林柏豪.(2018) , “研究我國經濟成長(Economic growth)、能源開發和使用(Energy use)二氧化碳排放量(即環境品質維護)( Environmental quality)等三項變數間的相關性和變動趨勢”, 全國博士論文網。
7. 拜語柔.(2012), “研究二氧化碳排放量與經濟發展相關指標的關係”, 全國博士論文網。
8. 邱郁雯.(2011) , “探討人均 GDP 對碳排放量之直接與間接影響，以歐盟 27 國為例”, 全國博碩士論文網。
9. 陳明勇.(2017) , “以拔靴追蹤方法探討二氧化碳排放量與經濟成長的Granger 因果關係”, 全國博士論文網。
10. 黃盈如.(2017) , “經濟成長、二氧化碳排放、能源消耗、核能與再生能源消耗之實證分析-以台灣為例”, 全國博士論文網。
11. 張淑玲.(2013) , “The Granger Causality Relationship between GDP, Energy Consumption and CO2 Emissions: Evidence from Hong Kong and Singapore ” , 全國博士論文網。
12. 蔣寧.(2013) , “GDP、出口、能源消耗與二氧化碳排放之因果關係，以中國大陸和台灣為例”, 全國博碩士論文網。
13. DAVID I. STERN, (2004) , “The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve” , World Development Vol. 32, No. 8, pp. 1419–1439, 2004
14. El'eazar Zerbo, (2015) , “ CO2 emissions, growth, energy consumption and foreign trade in Sub-Sahara African countries” , GOOGLE
15. Hakan ÇETİNTAS\* ve Murat SARIKAYA\*\*, (2015) , “CO2 Emissions, energy consumption and economic growth in the USA and the UK: ARDL Approach” , GOOGLE
16. Rodrigo Elizeche, (2015) , “Economic Analysis of How GDP, Oil Price,

表 1：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
蔣寧 (2013)	GDP、出口、能源消耗與二氧化碳排放之因果關係，以中國大陸和台灣為例。	1.資料：行政院主計 2012，中華民國統計資訊網「線上資料」、行政院經濟建設委員會 2007 年 4 月 17 日，查詢專區「線上資料」。 2.樣本：台灣與中國大陸 1982-2011 年之 GDP、出口、能源消耗、CO2 排放。	$y_{kt} = \phi_1 y_{k,t-1} + \phi_p y_{k,t-p} + Hx_{dt} + \varepsilon_{kt}$ $y_t$ 為 k 維之內生變數向量。 $X_t$ 為 d 維之外生變數向量。 $p$ 為落後期數。 $t$ 為樣本個數。 $\varepsilon_t$ 為 k 維的干擾項。 GDP 為經濟成長。 EX 為出口。 EC 為能源出口。 CO2 為二氧化碳排放。	時間序列分析法，單跟檢定、共整合檢定、向量自我迴歸模型與 Granger 因果關係檢定、OLS。	具有單向因果關係為：台灣之出口對 GDP 及能源消耗及 CO2 排放、台灣之 GDP 對能源消耗。中國大陸之出口及能源消耗對 GDP、中國大陸之 CO2 排放對 GDP、中國大陸之能源消耗和 CO2 排放對出口。 具有雙向因果關係為：台灣的 GDP 對 CO2 排放。

表 2：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
石瑋先 (2014)	GDP 能源消耗與 CO2 排放之間的因果關係與環境顧志耐曲線之研究，以八大工業國為例。	1.資料：行政院主計 2012，中華民國統計資訊網「線上資料」、行政院經濟建設委員會 2007 年 4 月 17，查詢專區「線上資料」。 2.樣本：台灣與中國大陸 1982-2011 年之 GDP、出口、能源消耗、CO2 排放。	$y_{kt} = \phi_1 y_{k,t-1} + \phi_p y_{k,t-p} + Hx_{dt} + \varepsilon_{kt}$ $y_t$ 為 k 維之內生變數向量。 $X_t$ 為 d 維之外生變數向量。 p 是落後期數。 t 為樣本個數。 $\varepsilon_t$ 為 k 維的干擾項。 GDP 為經濟成長。 EX 為出口。 EC 為能源出口。 CO2 為二氧化碳排放。	時間序列分析法，單根檢定、共整合檢定、向量自我迴歸模型與 Granger 因果關係檢定、OLS。	1.符合環境顧志耐曲線：德國與俄羅斯，日本與之相反。 2. 具有負項因果關係為：法國、德國與美國之 GDP 對人均能源消耗，德國、義大利與美國 GDP 對 CO2 排放。不存在因果關係為：八大工業國家之人均能源消耗與 CO2 排放。加拿大、日本之人均 GDP、人均能源消耗、CO2 排放。

表 3：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
DAVID I. STERN (2004)	環境庫茲涅茨曲線的上升與下降	1. 資料: Andreoni, J., & Levinson, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve. Ansuategi, A., & Perrings, C. A. (2000). Transboundary externalities in the environmental transition hypothesis.	$\ln(E/P)_{it} = \alpha_i + r_t + \beta_1 \ln(GDP/P)_{it} + \beta_2 [\ln(GDP_{it}/P_{it})]^2_{it} + \varepsilon_{it}$ <p>E 為 CO2 排放。 P 為人口。 i 為地區。 t 為年份。 <math>\alpha_i</math> 為各個國家未被觀察且不隨時間變動的因素的效果。 <math>r_t</math> 為時間的固定效果。 <math>\varepsilon_{it}</math> 為各國未被觀察且隨時間變動的因素效果。</p>	固定效應模型、隨機效應模型、Hausman 測試、前緣模型。	在成長較慢的經濟體中，減少技術變革的 CO2 排放量，可以克服人均收入增加對排放的規模效應。相比之下，在成長較快的中等收入經濟體中，收入增加的影響超過了技術變革所減少 CO2 排放量的效果。本文根據文章中所提供的證據表示，應使用更嚴格的時間序列或追蹤資料分析法對環境庫茲涅茨曲線進行統計分析。

表 4：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
王美玉 (2013)	金磚四國和印度尼西亞的二氧化碳排放、外國直接投資、國內生產總值和能源消耗。	1.資料：Paris: OECD/IEA、Brezina, C. (2012). Understanding the Gross Domestic Product and the Gross National Product.  2.樣本：巴西、俄羅斯、印度、中國和印度尼西亞 1992-2009 之 FDI、GDP、能源消耗、人口、經濟結構、CO2 排放。	$CO_2 = \beta_0 + \beta_1 ENG + \beta_2 FDI + \beta_3 GDP + \beta_4 POP + \beta_5 ES + \varepsilon$ <p>CO2 為 CO2 排放。 ENG 為能源消耗。 FDI 為外商直接投資。 GDP 為國內生產總值。 POP 為人口。 ES 為經濟結構。</p>	時間序列分析法、單跟檢定、共整合檢定、複迴歸模型、德一華檢定、假設檢定。	從結果來看，只有印度完全不適合該模型。巴西，俄羅斯和印度尼西亞之能源消耗、FDI、GDP、人口、經濟結構都對二氧化碳排放有影響。至於中國，只有人口對二氧化碳排放沒有影響，其他變數均對二氧化碳排放有影響。



表 5：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
Rodrigo Elizeche (2015)	GDP、油價、匯率和貿易平衡對巴拉圭出口台灣影響的經濟學分析。	1.資料：2003 人口普查、巴拉圭的世界銀行發展報告。 2.樣本：巴拉圭和台灣 2003-2012 之 GDP、油價、匯率、進口和出口。	$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$ <p>Y 為 FOB 價格。  <math>x_2</math> 為 GDP。  <math>x_2</math> 為油價。  <math>x_2</math> 為匯率。  <math>x_2</math> 為台灣進口。  <math>x_2</math> 為台灣出口。</p>	複迴歸模型、假設檢定、t 檢定、F 檢定、德－華檢定。	根據本研究獲得的結果，GPD、匯率、油價、進口和出口等變數對台灣從巴拉圭進口的產品數量都有很大的影響。在國際貿易中，所有宏觀經濟的因素都會影響產品的最終價格，而價格的變動會影響買家的意願。

表 6：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
黃盈如 (2017)	經濟成長、二氧化碳排放、能源消耗、核能與再生能源消耗之實證分析-以台灣為例。	1.資料：行政院環保署、行政院主計總處、經濟部能源局。 2.樣本：台灣1990-2015年之GDP、能源消耗量、二氧化碳排放量、核能消耗量、再生消耗量。	$\Delta y_t = \alpha \beta y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} Di \Delta y_{t-1} + Hx_t + \varepsilon_t$ $t=1,2\dots T$ <p><math>y_t</math>為一階整合變數形成的向量，且變數間有共整合關係存在。  <math>\alpha</math>為長期誤差修正像隻調整係數矩陣。  <math>\beta</math>為共整合向量矩陣。  <math>\sum_{i=1}^{p-1} Di \Delta y_{t-1}</math>為變量受短期波動之影響。  <math>Di</math>為短期之動態調整。  <math>x_t</math>為常數項、趨勢項等確定性項。  <math>\varepsilon_t</math>為擾亂向量。</p>	單跟檢定、共整合檢定、向量誤差修正模型、Granger因果關係檢定。	<p>具有單向因果關係為：CO2 排放量對再生能源消耗量、核能消耗量對CO2 排放量。</p> <p>具有雙向因果關係為：能源消耗與 CO2 排放量、經濟成長與 CO2 排放量。</p> <p>沒有顯著因果關係為：再生能源消耗量與核能消耗量對經濟成長。</p>

表 7：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
陳明勇 (2017)	以拔靴追蹤方法探討二氧化碳排放量與經濟成長的 Granger 因果關係。	1.資料：國際貨幣基金組織與聯合國之分類依 GDP 成長之個別國家、世界銀行之發展指標統計數據。  2.樣本：非洲、亞洲、歐洲與美洲之 22 個新興國家，1993 年到 2011 年的經濟成長與二氧化碳排放量。	$y_{it} = \alpha_i + \beta_i' X_{it} + \varepsilon_{it}$ for $i=1,2,\dots,N$ ; $t=1,2,\dots,T$  $i$ 為橫斷面的構面。 $t$ 為時間構面。 $X_{it}$ 為 $k \times 1$ 解釋變數的向量。 $\alpha_i$ 為個別截距，可隨國家不同所變動。 $\beta_i$ 為斜率係數，可隨國家不同所變動。	橫斷面相依檢定、斜率同質性檢定、拔靴追蹤、Granger 因果關係檢定、EViews 軟體應用	1. CO2 排放量單向領先影響 GDP 成長率的國家，其主要經濟來源以工業機械製造和紡織為主。 2. GDP 成長率與 CO2 排放量雙向影響之因果關係的國家，其主要經濟來源由非工業及多樣化服務業、農業。 3. CO2 與 GDP 並無直接互相影響之因果關係之國家，其經濟產業結構已改變，重工業已超過輕工業，擁有現代化的工業，私人消費成為帶動經濟發展的力量。

表 8：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
Hakan ÇETİN TAS* ve Murat SARIKA YA** (2015)	美國和英國的二氧化碳排放，能源消耗和經濟增長：ARDL 方法。	1. 資料：世界發展指標 CD-ROM。(2007) 2. 樣本：美國與英國 1960-2004 年之 CO2、GDP、EN、NUC、URB。	$\Delta \ln CO_2 = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 ECT_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_{3i} \Delta \ln CO_{2t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{4i} \Delta \ln EC_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{5i} \Delta \ln GDP_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{6i} \Delta \ln NUC_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{7i} \Delta \ln TR_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{8i} \Delta \ln URB_{t-i} + \varepsilon_{it}$ <p> <math>\alpha_{ji}</math>s 為短期動態係數。  <math>\alpha_2</math> 為調整的速度。  <math>ECT_{t-1}</math> 為變量如何快速和緩慢地恢復平衡。                 </p>	單位根檢驗、協整檢驗、ECM 因果關係。	1. 具單向因果關係：英國的 CO2 排放對經濟成長、美國的能源消耗對 CO2 排放。 2. 在兩個國家中，皆無發現能源消耗與經濟成長具有因果關係。 3. 不論短期或長期，經濟成長與 CO2 排在英國呈正相關，而在美國沒有任何影響。 4. 能源消耗對 CO2 排在英、美兩國皆呈正相關，而核能發電對 CO2 排放則皆呈負相關。

表 9：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
El'eazar Zerbo (2015)	撒哈拉以南非洲國家的二氧化碳排放量、成長、能源消耗和對外貿易。	1.資料：非洲發展報告 (2012)。 2.樣本：8個撒哈拉以南非洲國家，即博茨瓦納，喀麥隆，加蓬，象牙海岸，肯尼亞，塞內加爾，南非和多哥的經濟增長、能源消耗、對外貿易對二氧化碳排放。	$C_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t + \alpha_2 E_t + \alpha_3 Tt + \varepsilon_t$ <p> <math>C_t</math>為人均二氧化碳排放量。  <math>E_t</math>為人均能源消耗。  <math>Y_t</math>為人均實際收入。  <math>Tt</math>為用作對外貿易代表的人均進出口總額。  <math>\varepsilon_t</math>為假設回歸誤差項通常以零均值和常數方差分佈。                 </p>	單位根檢驗、ARDL 測試檢驗、格蘭傑因果關係檢驗。	能源消耗在短期內對博茨瓦納、肯尼亞、南非和多哥的二氧化碳排放量產生影響。貿易開放不足以改善肯尼亞的環境質量，而南非也是如此。肯尼亞依賴能源，而喀麥隆、塞內加爾、南非和多哥的經濟增長和能源消費中立。

表 10：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
張淑玲 (2013)	以格蘭傑因果 檢驗探討 GDP、能源消 耗與二氧化碳 排放之間的關 係：以香港和 新加坡為例。	1. 資料：1965 to 2010 which operated by EViews V.5 software for both Hong Kong and Singapore 2. 樣本：1965年至 2010年，香港和新 加坡的GDP、能源 消耗、二氧化碳排 放證據。	$GDP_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{1i} GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^p \alpha_{2i} EC_{t-i} + \sum_{i=1}^p \alpha_{3i} CO2_{t-i} + \mu_{1t}$ $EX_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_{1i} GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^q \beta_{2i} EC_{t-i} + \sum_{i=1}^q \beta_{3i} CO2_{t-i} + \mu_{2t}$ $CO2_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^s \delta_{1i} GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^s \delta_{2i} EC_{t-i} + \sum_{i=1}^s \delta_{3i} CO2_{t-i} + \mu_{3t}$ <p>GDP<sub>t</sub>、EX<sub>t</sub>、CO2<sub>t</sub>為GDP<sub>p</sub>、q和s代表最佳 滯後期間的每個變量。 t為期間。 μ為每個模型方程的誤差值。 α、β和δ為每個變量的係數值。</p>	單位根檢驗、最優滯 後長度、協整檢驗、 格蘭傑因果關係檢 驗、歷史時間序列數 據。	透過VECM模型進行的 Granger 因果關係結果 表明，香港具有二氧化碳 排放對能源消耗與GDP 的單向因果關係。此 外，GDP與能源消耗之間 存在雙向因果關係。新加 坡的結論證實，二氧化碳 排放對GDP、能源消耗都 存在單向因果關係。此 外，結果還表明能源消耗 和二氧化碳排放之間存 在雙向因果關係。

表 11：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
王淑美、胡均立、謝承憲(2010)	研究台灣地區移動污染源與空氣品質之環境願志耐曲線。	以 SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 及 CO 三種空氣污染物質排放量為環境品質依變數，另以縣市平均家戶年收入為所得指標，並增加公共支出變數、運具數量、人口數量及固定污染源等變數為自變數。	$AP_{ijt} = a_{i0} + a_{i1}Inc_{jt} + a_{i2}(Inc_{jt})^2 + a_{i3}VC_{jt} + a_{i4}VB_{jt} + a_{i5}VT_{jt} + a_{i6}EE_{jt} + a_{i7}Pop_{jt} + a_{i8}IA_{jt} + a_{i9}FN_{jt} + \varepsilon_{ijt}$ <p>AP為行政區內年度空氣污染物質平均濃度。                      Inc為行政區內年度平均家戶所得總額。                      VC為行政區內年度客車平均數。                      VB為行政區內年度機車平均數。                      VT為行政區內年度貨車平均數。                      EE為地方政府年度環保部門預算。                      Pop為行政區內年度人口平均數。                      IA為行政區內年度二級產業用地面積。                      FN為行政區內年度工廠家數。                      i為空污污染物質。                      j為空污污染地區。</p>	追蹤資料分析。	實證結果就SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 及CO三項空氣污染物質而言，台灣地區在 2001~2008 年間，三項污染物的排放量皆隨著平均家戶所得增加而呈現成長同步增加，達特定所得門檻水準後發生反曲現象，使得空氣污染物質在反曲點後，隨著所得增加而逐漸減少。

表 12：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
拜語柔 (2012)	研究二氧化碳排放量與經濟發展相關指標的關係。	採用台灣歷年二氧化碳排放量(部門方法)除以台灣歷年總人口數，得出之人均二氧化碳排放量作為EKC模型中的環境壓力指標和人均GDP作為經濟發展變數指標。	$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \phi V_t + \varepsilon_t$ $\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 (\ln Y_t)^2 + \phi V_t + \varepsilon_t$ $\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 (\ln Y_t)^2 + \beta_3 (\ln Y_t)^3 + \phi V_t + \varepsilon_t$ <p>E 為環境壓力指標。 Y 為經濟發展變數。 V 為其它解釋變數。 <math>\varepsilon</math> 為隨機誤差項。 i 為 CO2 (二氧化碳排放量)。 t 為時間指標。</p>	單一資料檢定	實證結果發現台灣二氧化碳與經濟發展並無呈現EKC之倒U型關係，而係呈現U型曲線。本研究顯示台灣目前二氧化碳排放量與經濟發展呈正向關係



表 13：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
林柏豪 (2018)	研究我國經濟成長、能源開發和使用二氧化碳排放量(即環境品質維護)等三項變數間的相關性和變動趨勢。	樣本資料期間為1990至2015年，資料來源主計處、環保署、能源局。	$GDP_{it} = \alpha_i + \delta_i t + \gamma_{1i} EC_{it} + \gamma_{2i} LB_{it} + \gamma_{3i} K_{it} + \varepsilon_{it}$ <p>GDP 為ln(Y)。                      EC 為ln(E)。                      LB 為ln(L)。                      K 為ln(KS)。                      i 為不同產業。                      t 為不同年度，為 1990 年至 2015 年。                      原本的環境願志耐曲線為 <math>P_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \varepsilon_t</math>                      加入能源總需求量因素後為 <math>P_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 E_t + \varepsilon_t</math>                      其中 Y 為每人實質 GDP。                      P 為每人CO<sub>2</sub>排放。                      E 為能源總需求。</p>	統計量化分析法、OLS 簡單回歸分析	本文實證研究結果顯示，能源總需求對每人實質GDP有負向的影響關係，可能是與產業結構與能源使用習慣有關。而能源部門(即發電產業)的能源使用，利用發電量反推得到的能源投入數量，與能源局統計報告內容相近。最後利用EKC假說分析台灣於1990年至2015年間的每人實質GDP與每人CO <sub>2</sub> 排放關係的圖形關係，的確顯示為倒U型曲線，並且在加入能源總需求之影響效果後，也同樣呈現倒U型曲線。

表 14：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
金相智 (2014)	研究台灣及南韓的 GDP、出口和能源消耗三個指標中各自的兩兩之間的關係。	樣本資料期間為 1971-2013 年，以 GDP、出口和能源消耗三者作為自變數和應變數。	$GDP_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_{li} GDP_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_{2i} EX_{t-1}$ $+ \sum_{i=1}^p \alpha_{3i} EC_{t-1} + \mu_{1t}$ $EX_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_{li} EX_{t-1} + \sum_{i=1}^p \beta_{2i} GDP_{t-1}$ $+ \sum_{i=1}^p \beta_{3i} EC_{t-1} + \mu_{2t}$ $EC_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^p \delta_{li} EC_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_{2i} GDP_{t-1}$ $+ \sum_{i=1}^p \delta_{3i} EX_{t-1} + \mu_{3t}$ <p> <math>GDP_t</math> , <math>EX_t</math> , <math>EC_t</math> 分別為 GDP、出口和能源消耗的時間變數。                      pq 和 s 為每個變量的最佳滯後期。                      t 為週期。                      μ 為誤差值。                      α, β, δ 為變量的係數。                 </p>	格蘭傑因果關係分析、單根檢定、時間序列分析。	由於經濟情勢不同，每個國家應該有不同的政策。由於限制能源消耗將對其他經濟應變數產生負面影響，兩國政府不應該考慮節能政策。

表 15：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
溥慧欣 (2013)	研究泰國及馬來西亞的GDP、出口和能源消耗三個指標中各自的兩兩之間的關係。	樣本資料期間為1965-2010年，以GDP、出口和能源消耗三者作為自變數和應變數。	$\Delta Y_t = \mu + \rho_0 Y_{t-1} + \eta^T + \sum_{t=1}^P b_t \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$ <p> <math>Y_t</math> 為能量消耗，GDP，出口和二氧化碳排放的時間序列。  <math>\Delta Y_t</math> 為變量的差值。  <math>t</math> 為時間序列。  <math>P</math> 為最優滯後長度。  <math>\mu</math> 為截距。  <math>\varepsilon_t</math> 為時間序列的殘差。  <math>Y_t</math> 係數為-1(Po)。                 </p>	格蘭傑因果關係分析、單根檢定、時間序列分析。	實證結果發現GDP、出口和能源消耗兩兩之間呈現雙向因果關係，雖然經濟發展(出口)改變了GDP，卻同時有環境污染的問題(CO2排放)，而如何創造雙贏的局面也是兩國政府應該去面對的課題。

表 16：文獻回顧表

作者	研究目的	資料與樣本	實證模型	估計方法	研究發現
邱郁雯 (2011)	探討人均 GDP 對碳排放量之直接與間接影響研究-以歐盟 27 國為例。	歐洲 27 個已開發國家縱橫資料，變數為人均 GDP 及能源強度。	$Y_{it} = \alpha_{it} + \sum_{k=s}^k \beta_{kit} X_{kit} + \varepsilon_{it}$ <p> <math>Y_{it}</math> 為第 i 個國家在 t 時間的應變數數值  <math>\alpha_{it}</math> 為各國家的截距項。  <math>X_{kit}</math> 為第 i 個國家在 t 時間 k 個解釋變數之值。  <math>\varepsilon_{it}</math> 為誤差值。                      i 為國家。                      t 為時間。                 </p> $y_{it} = \begin{cases} \mu_i + \beta_1' \cdot x_{it} + \varepsilon_{it} , & q_{it} \leq \gamma \\ \mu_i + \beta_2' \cdot x_{it} + \varepsilon_{it} , & q_{it} \geq \gamma \end{cases}$ <p> <math>y_{it}</math> 為碳排放量。  <math>x_{it}</math> 為再生電力。  <math>q_{it}</math> 為為門檻變數，此研究中為人均 GDP。  <math>\gamma</math> 為表待估計的門檻值。  <math>\varepsilon_{it}</math> 為誤差值。  <math>\beta_1'</math>、<math>\beta_2'</math> 為不同區間自變數所對應的迴歸係數。                 </p>	普通最小平方法、固定效果模型、隨機效果模型。	當人均 GDP 達到 22% 時，會開始趨緩，已開發國家的能源強度越大，人均 GDP 就越高，但再生能源的利用比例也有所提升。

表17：未開發國家之敘述統計表

變數	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
應變數					
CO2 (二氧化碳)	484	0.783808	1.615303	0.0207474	9.870597
解釋變數					
人均國內生產 總值	484	1443.799	1578.341	127.4297	8832.511
外國直接投資	484	5.18765	9.480102	-5.386803	103.3374
核能發電占比	484	0.318975	1.032576	0	5.571266
農業占比	484	41.64064	20.3715	0	80.46229
可耕種地面積	484	10.76684	10.36119	0	47.93271
森林面積	484	32.36843	24.02668	0	80.46898
製造業出口	484	16.7886	21.73227	0	97.69316
製造業進口	484	45.02038	28.90189	0	92.9907

表18：開發中國家之敘述統計表

變數	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
應變數					
CO2 (二氧化碳)	1320	4.826546	7.089276	0	62.82354
解釋變數					
人均國內生產 總值	1320	7750.187	10140.85	135.7624	88564.82
外國直接投資	1320	5.007057	7.989881	-43.46282	198.0743
核能發電占比	1320	2.200933	9.06958	0	80.53541
農業占比	1320	38.07244	21.57884	0.448718	84.7446
可耕種地面積	1320	14.22995	13.8648	0.0431406	62.55666
森林面積	1320	31.58343	24.71124	0	98.55769
製造業出口	1320	34.73548	31.83308	0	373.2282
製造業進口	1320	52.78977	25.36459	0	96.99726

表19:已開發國家之敘述統計表

變數	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
應變數					
CO2 (二氧化碳)	506	9.172262	3.126324	1.435121	24.82456
解釋變數					
人均國內生產 總值	506	38842.25	21693.28	0	119225.4
外國直接投資	506	9.43214	34.70527	-58.32288	451.7155
核能發電占比	506	15.03441	18.49608	0	79.51166
農業占比	506	33.85212	21.18393	0	73.73207
可耕種地面積	506	15.62092	12.56886	0	58.89701
森林面積	506	29.52042	19.07105	0	73.11198
製造業出口	506	62.9157	27.82133	0	97.65862
製造業進口	506	67.32774	13.83347	0	91.78466

表 20：全部國家(不區分)二氧化碳排放量迴歸分析－固定效果模型

	(1)	(2)	(3)
	碳排放量	碳排放量	碳排放量
人均國內生產 總值	0.992*** (14.53)	0.888*** (12.68)	0.857*** (12.20)
人均國內生產 總值的平方	-0.0497*** (-11.61)	-0.0435*** (-9.96)	-0.0414*** (-9.43)
外國直接投資	0.000429 (1.93)	0.000484* (2.19)	0.000430 (1.95)
核能發電占比	-0.00100 (-0.95)	-0.000577 (-0.54)	-0.000626 (-0.59)
農業占比		0.0121*** (3.91)	0.0119*** (3.89)
可耕種地面積		0.000646 (0.16)	0.000673 (0.17)
森林面積		-0.00828* (-2.04)	-0.00764 (-1.89)
製造業出口			0.000941*** (3.44)
製造業進口			0.000121 (0.54)
常數項	-4.019*** (-14.93)	-3.803*** (-11.60)	-3.754*** (-11.48)
觀察數量	2308	2308	2308
R-squared	0.7933	0.1789	0.2143
國家數量	210	210	210

*t* statistics in parentheses \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$



表21：未開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－固定效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	1.390*** (5.15)	1.315*** (4.61)	1.208*** (4.25)
人均國內生產 總值的平方	-0.0761*** (-3.85)	-0.0726*** (-3.52)	-0.0665** (-3.25)
外國直接投資	0.000389 (0.30)	0.000138 (0.11)	0.000166 (0.13)
核能發電占比	0.0580 (0.71)	0.0592 (0.73)	0.0783 (0.97)
農業占比		-0.0101 (-0.40)	-0.00702 (-0.28)
可耕種地面積		0.0183 (0.73)	0.0163 (0.65)
森林面積		-0.0187 (-1.87)	-0.0221* (-2.21)
製造業出口			0.00140 (1.58)
製造業進口			0.00121* (2.19)
常數項	-7.096*** (-7.71)	-5.923*** (-4.67)	-5.560*** (-4.43)
觀察數量	484	484	484
R-squared	0.7871	0.2328	0.2065
國家數量	44	44	44

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

表22：開發中國家二氧化碳排放量迴歸分析－固定效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	0.483*** (4.89)	0.421*** (4.24)	0.425*** (4.28)
人均國內生產 總值的平方	-0.0184** (-3.00)	-0.0146* (-2.37)	-0.0148* (-2.41)
外國直接投資	0.000999 (1.92)	0.00111* (2.15)	0.00109* (2.12)
核能發電占比	-0.000770 (-0.75)	-0.000271 (-0.26)	-0.000231 (-0.22)
農業占比		0.0107*** (3.31)	0.0108*** (3.32)
可耕種地面積		0.000639 (0.15)	0.000698 (0.16)
森林面積		0.00225 (0.49)	0.00176 (0.38)
製造業出口			0.000383 (1.29)
製造業進口			-0.000480 (-1.83)
常數項	-1.876*** (-4.74)	-2.121*** (-4.78)	-2.113*** (-4.74)
觀察數量	1319	1319	1319
R-squared	0.7197	0.1814	0.1734
國家數量	120	120	120

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

表23：已開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－固定效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	1.993*** (8.86)	2.486*** (12.37)	2.339*** (11.19)
人均國內生產 總值的平方	-0.103*** (-8.99)	-0.124*** (-12.20)	-0.116*** (-10.82)
外國直接投資	0.000270 (1.46)	0.000364* (2.26)	0.000301 (1.85)
核能發電占比	-0.00177 (-0.80)	-0.00248 (-1.31)	-0.00223 (-1.18)
農業占比		0.00575 (1.33)	0.00623 (1.44)
可耕種地面積		0.0114 (1.68)	0.0121 (1.78)
森林面積		-0.173*** (-10.94)	-0.169*** (-10.58)
製造業出口			0.00139* (2.38)
製造業進口			-0.000323 (-0.57)
常數項	-7.377*** (-6.67)	-5.425*** (-5.52)	-5.030*** (-5.05)
觀察數量	505	505	505
R-squared	0.0067	0.014	0.0147
國家數量	46	46	46

*t* statistics in parentheses \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄 1：全部國家二氧化碳排放量迴歸分析－最小平方 OLS

	未開發國家 碳排放量	開發中國家 碳排放量	已開發國家 碳排放量	全部國家 碳排放量
人均國內生產 總值	1.945*** (4.59)	1.401*** (6.58)	2.048*** (5.14)	3.318*** (31.75)
人均國內生產 總值的平方	-0.0666* (-2.23)	-0.0280* (-2.19)	-0.0928*** (-4.57)	-0.143*** (-23.25)
外國直接投資	0.00215 (0.75)	0.00183 (0.75)	0.000797 (1.47)	-0.000464 (-0.58)
核能發電占比	0.227*** (8.00)	0.00910*** (3.91)	-0.00395** (-3.25)	0.00205 (1.52)
農業占比	0.00585*** (3.47)	0.000614 (0.49)	0.000582 (0.46)	0.000125 (0.14)
可耕種地面積	-0.0247*** (-7.42)	-0.00380* (-1.99)	0.00536* (2.47)	-0.00162 (-1.11)
森林面積	-0.00762*** (-6.09)	-0.00410*** (-4.51)	0.00798*** (6.86)	-0.00568*** (-8.49)
製造業出口	0.00554*** (3.97)	0.000758 (1.02)	-0.00659*** (-7.79)	0.000646 (1.12)
製造業進口	-0.00260* (-2.41)	-0.00108 (-1.25)	0.00395** (2.91)	-0.000489 (-0.75)
常數項	-11.13*** (-7.50)	-8.699*** (-10.11)	-9.228*** (-4.76)	-16.64*** (-38.42)
觀察數量	484	1319	505	2308
R-squared	0.7949	0.6984	0.3083	0.8122
Root MSE	0.57646	0.70246	0.39326	0.68719

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄2：全部國家(不區分)二氧化碳排放量迴歸分析－隨機效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	0.881*** (11.76)	0.870*** (11.47)	0.827*** (10.92)
人均國內生產 總值的平方	-0.0370*** (-7.95)	-0.0365*** (-7.74)	-0.0337*** (-7.16)
外國直接投資	0.000527* (2.10)	0.000529* (2.11)	0.000436 (1.75)
核能發電占比	0.00190 (1.66)	0.00218 (1.90)	0.00187 (1.64)
農業占比		-0.00371 (-1.65)	-0.00345 (-1.54)
可耕種地面積		0.00683* (2.17)	0.00603 (1.92)
森林面積		-0.00462* (-2.33)	-0.00438* (-2.21)
製造業出口			0.00147*** (4.82)
製造業進口			0.000210 (0.83)
常數項	-4.031*** (-13.36)	-3.788*** (-12.02)	-3.697*** (-11.80)
觀察數量	2308	2308	2308
R-squared	0.8334	0.7845	0.7782
國家數量	210	210	210

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄3：全部國家(不區分)二氧化碳排放量迴歸分析－Hausman Test

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	0.881*** (11.76)	0.870*** (11.47)	0.827*** (10.92)
人均國內生產 總值的平方	-0.0370*** (-7.95)	-0.0365*** (-7.74)	-0.0337*** (-7.16)
外國直接投資	0.000527* (2.10)	0.000529* (2.11)	0.000436 (1.75)
核能發電占比	0.00190 (1.66)	0.00218 (1.90)	0.00187 (1.64)
農業占比		-0.00371 (-1.65)	-0.00345 (-1.54)
可耕種地面積		0.00683* (2.17)	0.00603 (1.92)
森林面積		-0.00462* (-2.33)	-0.00438* (-2.21)
製造業出口			0.00147*** (4.82)
製造業進口			0.000210 (0.83)
常數項	-4.031*** (-13.36)	-3.788*** (-12.02)	-3.697*** (-11.80)
觀察數量	2308	2308	2308
R-squared	0.8334	0.7845	0.7782
國家數量	210	210	210
F test	132.94	82.98	66.72
Hausman test	-1318.72	-571.24	-779.80

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄4：未開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－隨機效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	1.284*** (4.52)	1.489*** (5.17)	1.391*** (4.83)
人均國內生產 總值的平方	-0.0636** (-3.07)	-0.0780*** (-3.72)	-0.0721*** (-3.45)
外國直接投資	0.000147 (0.11)	0.000121 (0.09)	0.000216 (0.16)
核能發電占比	0.251*** (3.97)	0.224*** (3.61)	0.231*** (3.76)
農業占比		0.00945 (1.78)	0.00918 (1.75)
可耕種地面積		-0.0312*** (-3.78)	-0.0317*** (-3.89)
森林面積		-0.00800* (-2.17)	-0.00801* (-2.20)
製造業出口			0.00171 (1.85)
製造業進口			0.000915 (1.58)
常數項	-7.026*** (-7.22)	-7.539*** (-7.57)	-7.200*** (-7.23)
觀察數量	484	484	484
R-squared	0.7173	0.7211	0.7166
國家數量	44	44	44

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄5：未開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－Hausman Test

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產總值	1.284*** (4.52)	1.489*** (5.17)	1.391*** (4.83)
人均國內生產總值的平方	-0.0636** (-3.07)	-0.0780*** (-3.72)	-0.0721*** (-3.45)
外國直接投資	0.000147 (0.11)	0.000121 (0.09)	0.000216 (0.16)
核能發電占比	0.251*** (3.97)	0.224*** (3.61)	0.231*** (3.76)
農業占比		0.00945 (1.78)	0.00918 (1.75)
可耕種地面積		-0.0312*** (-3.78)	-0.0317*** (-3.89)
森林面積		-0.00800* (-2.17)	-0.00801* (-2.20)
製造業出口			0.00171 (1.85)
製造業進口			0.000915 (1.58)
常數項	-7.026*** (-7.22)	-7.539*** (-7.57)	-7.200*** (-7.23)
觀察數量	484	484	484
R-squared	0.7173	0.7211	0.7166
國家數量	44	44	44
F test	107.66	88.69	88.10
Hausman test	-55.34	-22.68	-15.38

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$



附錄6：開發中國家二氧化碳排放量迴歸分析－隨機效果模型

	(1)	(2)	(3)
	碳排放量	碳排放量	碳排放量
人均國內生產 總值	0.435*** (4.16)	0.422*** (4.01)	0.429*** (4.08)
人均國內生產 總值的平方	-0.0132* (-2.04)	-0.0124 (-1.90)	-0.0128* (-1.97)
外國直接投資	0.00111* (2.00)	0.00114* (2.04)	0.00112* (2.01)
核能發電占比	-0.000178 (-0.16)	-0.0000479 (-0.04)	-0.0000474 (-0.04)
農業占比		0.00136 (0.52)	0.00143 (0.55)
可耕種地面積		0.00119 (0.34)	0.00113 (0.32)
森林面積		0.000593 (0.24)	0.000609 (0.25)
製造業出口			0.000502 (1.58)
製造業進口			-0.000391 (-1.39)
常數項	-1.848*** (-4.35)	-1.886*** (-4.32)	-1.916*** (-4.38)
觀察數量	1319	1319	1319
R-squared	0.7277	0.7151	0.7106
國家數量	120	120	120

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄7：開發中國家二氧化碳排放量迴歸分析－Hausman Test

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產總值	0.435*** (4.16)	0.422*** (4.01)	0.429*** (4.08)
人均國內生產總值的平方	-0.0132* (-2.04)	-0.0124 (-1.90)	-0.0128* (-1.97)
外國直接投資	0.00111* (2.00)	0.00114* (2.04)	0.00112* (2.01)
核能發電占比	-0.000178 (-0.16)	-0.0000479 (-0.04)	-0.0000474 (-0.04)
農業占比		0.00136 (0.52)	0.00143 (0.55)
可耕種地面積		0.00119 (0.34)	0.00113 (0.32)
森林面積		0.000593 (0.24)	0.000609 (0.25)
製造業出口			0.000502 (1.58)
製造業進口			-0.000391 (-1.39)
常數項	-1.848*** (-4.35)	-1.886*** (-4.32)	-1.916*** (-4.38)
觀察數量	1319	1319	1319
R-squared	0.7277	0.7151	0.7106
國家數量	120	120	120
F test	66.51	41.15	33.27
Hausman test	-100.8	40.92***	37.12***

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄8：已開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－隨機效果模型

	(1) 碳排放量	(2) 碳排放量	(3) 碳排放量
人均國內生產 總值	2.006*** (8.95)	2.000*** (9.10)	1.855*** (8.18)
人均國內生產 總值的平方	-0.103*** (-8.99)	-0.102*** (-9.11)	-0.0934*** (-7.99)
外國直接投資	0.000275 (1.48)	0.000322 (1.77)	0.000219 (1.18)
核能發電占比	-0.00180 (-0.96)	-0.00155 (-0.79)	-0.00166 (-0.85)
農業占比		0.00753* (2.22)	0.00660* (2.00)
可耕種地面積		0.00286 (0.51)	0.00310 (0.56)
森林面積		-0.00532 (-1.37)	-0.00502 (-1.35)
製造業出口			0.00141* (2.17)
製造業進口			0.000456 (0.71)
常數項	-7.556*** (-6.86)	-7.706*** (-7.11)	-7.249*** (-6.56)
觀察數量	505	505	505
R-squared	0.0261	0.0106	0.0116
國家數量	46	46	46

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄9：已開發國家二氧化碳排放量迴歸分析－Hausman Test

	(1)	(2)	(3)
	碳排放量	碳排放量	碳排放量
人均國內生產總值	2.006*** (8.95)	2.000*** (9.10)	1.855*** (8.18)
人均國內生產總值的平方	-0.103*** (-8.99)	-0.102*** (-9.11)	-0.0934*** (-7.99)
外國直接投資	0.000275 (1.48)	0.000322 (1.77)	0.000219 (1.18)
核能發電占比	-0.00180 (-0.96)	-0.00155 (-0.79)	-0.00166 (-0.85)
農業占比		0.00753* (2.22)	0.00660* (2.00)
可耕種地面積		0.00286 (0.51)	0.00310 (0.56)
森林面積		-0.00532 (-1.37)	-0.00502 (-1.35)
製造業出口			0.00141* (2.17)
製造業進口			0.000456 (0.71)
常數項	-7.556*** (-6.86)	-7.706*** (-7.11)	-7.249*** (-6.56)
觀察數量	505	505	505
R-squared	0.0261	0.0106	0.0116
國家數量	46	46	46
F test	20.91	39.98	32.03
Hausman test	12.09*	159.68***	156.5***

*t statistics in parentheses* \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

附錄10：根據聯合國標準未開發國家詳細列表

未開發國家	
Afghanistan	Equatorial Guinea
Angola	Estonia
Bhutan	Eswatini
Burkina Faso	Ethiopia
Burundi	Fiji
Cambodia	Gabon
Central African Republic	Gambia, The
Comoros	Georgia
Congo, Dem. Rep.	Ghana
Congo, Rep.	Grenada
Guinea	Guatemala
Guinea-Bissau	Guyana
Lao PDR	Haiti
Lesotho	Honduras
Liberia	Hungary
Madagascar	India
Mali	Indonesia
Mauritania	Iran, Islamic Rep.
Mozambique	Iraq
Myanmar	Israel
Namibia	Jamaica
Nepal	Jordan
Niger	Kazakhstan
Rwanda	Kenya
Sao Tome and Principe	Kiribati
Senegal	Kuwait
Sierra Leone	Kyrgyz Republic
Solomon Islands	Latvia
South Africa	Lebanon
Sudan	Libya
Tanzania	
Timor-Leste	
Tuvalu	
Uganda	
Yemen, Rep.	
Zambia	

附錄11：根據聯合國標準開發中國家詳細列表

開發中國家	
Albania	Heavily indebted poor
Algeria	countries (HIPC)
Antigua and Barbuda	Least developed countries:
Argentina	UN classification
Armenia	Low income
Aruba	Middle East & North Africa
Azerbaijan	Middle East & North Africa
Bahamas, The	(excluding high income)
Bahrain	Sub-Saharan Africa
Bangladesh	Sub-Saharan Africa
Barbados	(excluding high income)
Belarus	Sub-Saharan Africa (IDA &
Belize	IBRD countries)
Benin	Lithuania
Bolivia	Macedonia, FYR
Bosnia and Herzegovina	Malawi
Botswana	Malaysia
Brazil	Maldives
Brunei Darussalam	Marshall Islands
Bulgaria	Mauritius
Cabo Verde	Mexico
Cameroon	Micronesia, Fed. Sts.
Chad	Moldova
Chile	Mongolia
Colombia	Nicaragua
Costa Rica	Nigeria
Cote d'Ivoire	Pakistan
Croatia	Palau
Cuba	Panama
Cyprus	Papua New Guinea
Djibouti	Paraguay
Dominica	Peru
Dominican Republic	Philippines
Ecuador	Poland
Egypt, Arab Rep.	Qatar
El Salvador	

附錄11：根據聯合國標準開發中國家詳細列表

開發中國家	
Samoa	
Saudi Arabia	
Seychelles	
Sri Lanka	
St. Kitts and Nevis	
St. Lucia	
St. Vincent and the Grenadines	
Suriname	
Tajikistan	
Thailand	
Togo	
Tonga	
Trinidad and Tobago	
Tunisia	
Turkey	
Turkmenistan	
Ukraine	
United Arab Emirates	
Uruguay	
Uzbekistan	
Vanuatu	
Venezuela, RB	
Vietnam	
West Bank and Gaza	
Zimbabwe	
Arab World	
Caribbean small states	
East Asia & Pacific	
East Asia & Pacific (excluding high income)	
East Asia & Pacific (IDA & IBRD countries)	
Europe & Central Asia (excluding high income)	

附錄12：根據聯合國標準已開發國家詳細列表

已開發國家	
Andorra	Sweden
Australia	United Kingdom
Austria	United States
Belgium	Central Europe and the Baltics
Bermuda	Euro area
Canada	Europe & Central Asia
China	Europe & Central Asia (IDA & IBRD countries)
Czech Republic	European Union
Denmark	High income
Faroe Islands	North America
Finland	
France	
Germany	
Greece	
Greenland	
Hong Kong SAR, China	
Iceland	
Ireland	
Italy	
Japan	
Korea, Rep.	
Luxembourg	
Macao SAR, China	
Malta	
Morocco	
Netherlands	
New Zealand	
Norway	
Oman	
Portugal	
Russian Federation	
Singapore	
Slovak Republic	
Slovenia	
Spain	