

南 華 大 學

財務管理研究所碩士論文

A THESIS FOR THE DEGREE OF MASTER OF BUSINESS
ADMINISTRATION INSTITUTE OF FINANCIAL MANAGEMENT
NAN HUA UNIVERSITY

經濟發展與碳排放－環境顧志耐曲線應用
Economic Development and carbon emissions:
Application of EKC curve

指導教授：李怡慧 博士
ADVISOR：Dr. YI-HUEY LEE

研究生：邱睦惠（釋妙超）
GRADUATE STUDENT：MU-HUI CHIU

中 華 民 國 壹 百 年 五 月

南 華 大 學
財 務 管 理 研 究 所
碩 士 學 位 論 文

經濟發展與碳排放—環境顧志耐曲線應用
Economic Development and carbon emissions:
Application of EKC curve

研究生：邱睦惠

經 考 試 合 格 特 此 證 明

口 試 委 員：李怡慧
孫育伯
王昭文

指 導 教 授：李怡慧

系 主 任 (所 長)：賴丞坡

口 試 日 期：中 華 民 國 100 年 5 月 22 日

版權宣告

本論文之內容並無抄襲其他著作之情事，且本論文之全部或一部份並未使用在申請其他學位論文之用。

南華大學財務管理研究所九十九學年度第二學期碩士論文摘要

論文題目：經濟發展與碳排放－環境顧志耐曲線應用

研究生：邱睦惠

指導教授：李怡慧 博士

論文摘要內容：

隨著經濟的發展，各國的能源使用量也將隨之提高，有鑑於化石燃料之能源轉換對溫室效應的影響程度最大，在此情況下，如何兼顧 CO₂ 排放之減量目標與避免國家整體經濟受到重創，將成為各國政府制定減量措施之焦點課題與重要關鍵。基此，本文結合橫跨 70 個國家在 1973 至 2007 年間之資料，依歷史地緣將樣本國家區分為歐盟地區 15 國、東南亞地區 14 國、美洲地區 17 國、中東及非洲地區 22 國；另將參與碳排放交易國家依是否受京都議定書轄定分為歐盟強制性碳交易市場 15 國及國際性自願性交易市場 7 國，來探討經濟發展與碳排放量之關係。

現今全球大部分國家仍處於工業密集之階段，根據本研究實證結果亦顯示，化石能源消費量及工業佔 GDP 比例之迴歸估計係數均為正相關且顯著，其中，東南亞地區及美洲地區符合 EKC 倒 U 型曲線，即 CO₂ 排放量隨著經濟發展之提升而獲得改善；國際自願性碳交易市場亦符合 EKC 之倒 U 型曲線，表示在資源配置全球化背景下，透過金融交易方式來達到 CO₂ 減排之成效獲得彰顯；歐盟地區出現 EKC 之 N 型曲線，但因三次方之估計值很小，亦可視為 EKC 之倒 U 型曲線，此說明了在現實環境中，經濟發展與環境污染之間的負向關係需透過政策響應來實現。

關鍵字：環境顧志耐曲線、二氧化碳排放、排放交易制度

Title of Thesis : Economic Development and carbon emissions:Application of EKC curve

Name of Institute: Institute of Financial Management, Nan Hua University

Graduate date: May 2011

Degree Conferred: M.B.A.

Name of student: Mu-Hui Chiu

Advisor: PH.D. Yi-Huey Lee

Abstract

Along with the economic development, world primary energy consumption will also be increased. Since greenhouse gas emissions are mostly in the form of carbon dioxide emissions from burning fossil fuels such as coal, oil and gas, how to take both the economic growth and carbon dioxide emissions reduction targets into account will be the public authorities' tasks. Therefore, this paper will discuss the relationship between economic development and carbon dioxide emissions by applying 70 countries from 1973 to 2007. In our empirical work, we divided data based on historical and geopolitical factors into the five areas, such as European Union (EU), Southeast Asia, America and the Middle East and Africa. Furthermore, we investigated the case that countries participate in emission trading by separating countries into regular market or voluntary market.

Most countries in the world are in the industrial-intensive stage. According to our empirical results, it also shows that the coefficients of fossil energy consumption and proportion of industrial added value accounted for GDP are positively significant. From the empirical results from European Union, Southeast Asia and the Americas areas, CO₂ emissions increase will be improved through economic growth, that is we find the evidence to support the inverted-U shape EKC. Results for international voluntary market is also in line with the inverted-U shape EKC, that means the effectiveness of CO₂ emissions reduction will be achieved through financial transactions. As to the results for regular market, EU Emissions Trading Scheme (EU ETS) supports the N-shape EKC, indicating that the negative relationship between economic growth and environmental pollution.

Keywords : EKC 、 Carbon dioxide emissions 、 Emissions Trading Scheme (ETS)

目 錄

論文口試委員審定書	II
版權宣告	III
中文摘要	IV
英文摘要	V
目 錄	VI
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章 緒 論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	5
第三節 研究架構	6
第二章 文獻回顧	7
第一節 環境願志耐曲線之概述	7
第二節 經濟發展與環境污之關係	10
第三節 環境願志耐曲線實證回顧與整理	13
第四節 碳排放權交易與環境污染之關係	23
第三章 研究方法與設計	28
第一節 縱橫資料分析法	28
第二節 縱橫資料模型之選擇	29
第三節 異質變異與自我相關	32
第四節 實證模型	33
第四章 實證結果與分析	35
第一節 資料來源及變數選擇	35
第二節 樣本資料統計分析	39
第三節 相關係數檢定	41
第四節 縱橫單根檢定之實證分析	43
第五節 一般迴歸分析法	49
第六節 FGLS 實證結果分析	51
第五章 結論與建議	56
參考文獻	59

圖目錄

圖 1-1 研究架構圖	6
圖 2-1 顧志耐曲線	7
圖 2-2 經濟發展與環境污染指標之 EKC 形態	9
圖 2-3 經濟發長對環境污染之影響	11
圖 2-4 環境政策對 EKC 之影響	12
圖 2-5 國際排放交易機制	24
圖 2-6 全球溫室氣體(GHG)碳市場結構圖	25

表目錄

表 1-1	附件一國家履行京都議定書減量承諾執行成效.....	3
表 2-1	Barbier 整理各研究對特定染物與每人所得之 EKC 轉折點.....	20
表 2-2	顧志耐曲線實證文獻整理.....	22
表 2-3	京都議定書三種機制之比較.....	24
表 2-4	全球碳排放權市場交易現況.....	27
表 2-5	全球工業化國家 2010 年碳權交易潛在需求.....	27
表 4-1	樣本資料分區表.....	36
表 4-2	各項相關變數說明.....	39
表 4-3	變數統計量表.....	40
表 4-4	皮爾森相關性檢定-相關係數矩陣表.....	41
表 4-5	Panel 單根檢檢定-歐盟強制性碳交易市場.....	44
表 4-6	Panel 單根檢檢定國-際自願性碳交易市場.....	45
表 4-7	Panel 單根檢檢定-東南亞洲地區.....	46
表 4-8	Panel 單根檢檢定-美洲地區.....	47
表 4-9	Panel 單根檢檢定-非洲及中東地區.....	48
表 4-10	普通最小平方法 OLS 實證結果.....	50
表 4-11	異質變異與自我相關檢定.....	51
表 4-12	FGLS 迴歸模型實證結果-依區域性.....	53
表 4-13	FGLS 迴歸模型實證結果-歐盟強制性碳交易市場.....	54
表 4-14	FGLS 迴歸模型實證結果-國際自願性碳交易市場.....	55

第一章 緒 論

1980 年代開始，環保議題成為全球一股新興潮流，由美國前副總統艾爾高爾 (Al Gore) 所發表之「不願面對的真相 (An Inconvenient Truth)」紀錄片，激起社會大眾對氣候變遷及全球暖化議題之熱烈討論與重視。然此議題不僅止於環境，更涉及經濟、政治及社會結構等各層面問題，可由眾多之科學證據顯示，自工業化以來，大量使用化石燃料 (Fossil Fuel)，使溫室氣體濃度在大氣中大幅提升，其中，二氧化碳 (Carbon Dioxide, CO₂) 含量高達 66%，遠大於其他溫室氣體，對於溫室效應之影響程度最大，將可能引發不可逆之氣候變遷，使得人類之生存環境及經濟發展受到嚴重威脅 (Stix, 2006)。有鑑於此，聯合國成立政府間氣候變遷問題小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)，有系統地評估全球暖化現象所造成之氣候異常現象，迫使世界各國重視到此問題若持續惡化，地球環境將遭破壞，人類生存亦受到威脅，並力促世界各國共同減緩全球暖化之現象。

第一節 研究背景與動機

為防治全球暖化，聯合國於 1992 年通過「氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)」，基於共同承擔但責任不同及公平原則之基礎下，初步設定締約國之溫室氣體排放減量目標及時程，其終極目標為穩定大氣中之溫室氣體濃度，抑制劇烈氣候變遷所造成之傷害。然「聯合國氣候變化綱要公約」並不具法律約束力，為力促世界各國落實溫室氣體排放之減量行動，遂於 1997 年 12 月在日本東京舉行氣候變化綱要公約「第三次締約國會議」(COP3)，並於會中通過具有法律約束力之「京都議定書」(Kyoto Protocol)。根據公約規定，議定書必須獲得以 1990 為基準年，已開發國家二氧化碳排放總量 55% 以上之國家批准，且批准國達 55 個上始能生效。¹其生效過程可謂漫漫長路，直到 2004 年 11 月獲得俄國批准，議定書終於在 2005 年 2 月 16 日正式生效，使得議定書由最初原則性承諾，邁向實質性之責任承擔階段。

¹ 京都議定書所列之附件 B 國家與 UNFCCC 所列之附件一國家稍有出入，原屬 UNFCCC 附件一國家之白俄羅斯與土耳其，未被列入京都議定書之附件 B 國家，無須負擔減量義務。UNFCCC「附件一」(Annex I, AI) 所列已開發國家包括澳大利亞、奧地利、白俄羅斯、比利時、保加利亞、加拿大、克羅埃西亞、捷克、歐洲共同體、愛沙尼亞、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、冰島、愛爾蘭、義大利、日本、拉脫維亞、列支敦士登、立陶宛、盧森堡、摩納哥、荷蘭、紐西蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、俄羅斯、斯洛伐克、斯洛文尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、烏克蘭、丹麥、英國、美國等國。

京都議定書大致依循「聯合國氣候變化綱要公約」全文共 28 條條文暨附件A、B，涵蓋四大規範：一須減排之溫室氣體種類；二溫室氣體減排之義務、承諾與承諾期；三清潔發展機制 (Clean Development Mechanism, CDM)、共同減量 (Joint Implementation, JI)、排放交易 (Emissions Trading, ET) 機制；四遵約機制。議定書第一階段減量目標為要求附件一之已開發國家，於 2012 年減少溫室氣體排放量達到 1990 年之標準再減少 5.2%，其目的在控制簽署國之溫室氣體總排放量，但基於成本效益考量，亦賦予各簽署國極大彈性之方法來達成目標，因此發展出京都議定書三大機制，亦開創了溫室氣體排放權之交易市場。

在碳排放交易市場中，因已開發國家對 CO₂ 排放量之管制，而成為主要交易之買方，未開發及開發中國家則為主要交易之賣方，國際間透過市場機制解決環境問題已然形成。目前國際碳排放交易市場，以是否受京都議定書轄定區分為法治性市場 (Regulated Market) 和自願性市場 (Voluntary Market) 兩類。法治性市場以歐盟排放交易體系 (European Union Greenhouse Gas Emission Trading Scheme, EU ETS) 為代表，對歐盟 27 國強制執行總量控制和碳排放交易制度，為一強制減排配額市場。自願性市場以美國芝加哥氣候交易所 (Chicago Climate Exchange, CCX) 為主，為全球第一家自願減排碳交易市場，也是碳排放權期貨交易模式之開創者。據世界銀行 2009 年公佈資料顯示，2008 年全球碳排放市場規模為 1263 億美元，較 2005 年之 108 億美元約成長 11 倍。就成交量而言，2008 年在市場中約有 48 億噸碳交易，較 2005 年 7 億噸增加了 7 倍左右，其中以歐盟排放交易體系之配額現貨及其衍生性商品交易規模最大，於 2008 年交易量已接近 920 億美元，佔全球交易總量 73%，²使 EU ETS 成為國際溫室氣體排放交易制度發展之重要指標。

京都議定書即將於 2012 年屆滿，檢視從 1990 年到 2007 年止，美國溫室氣體排不降反上升 16%，紐西蘭上升 18%，日本也增加 8%，遠落後於第一階段減量設定之目標；反觀俄羅斯減少 48.58%，歐盟 (EU 27 國) 整體下降 14.30%，以 2007 年附件一國家排放情況來看，除了經濟轉型國家外，僅德國、英國、歐盟、瑞典、比利時等少數國家可達成第一階段減量承諾，如表 1-1 所示。由前述資料顯示，包含德國、英國在內之歐盟 27 個國家，³共同推動 EU ETS，強制執行溫室氣體總量管制

² 請參見 World Bank. (2008). State and trends of the carbon market 2008。http://wbcarbonfinance.org/ 下載日期 2010/09/12

³ 歐盟於 2005 年實施 ETS 有 25 個會員國，2007 年加入羅馬尼亞與保加利亞，成為 27 個會員國，其中僅賽普勒斯與馬爾它不屬京都議定書附件 B 國家。

及交易制度，參與各國必須符合歐盟溫室氣體排放交易指令 Directive 2003/87/EC 之相關規定，⁴並以履行京都減量承諾及減量分擔協議 (Burden Sharing) 之決議作為減量目標，檢視 EU ETS 執行轄定之溫室氣體排放量核配工作已具成效。

後京都之「氣候變化綱要公約」協議，是接續京都議定書第二階段全球因應氣候變化之方案，能源與氣候變化議題將是協議之重點，後京都協定一旦完成簽署，將對未來全球經濟發展產生重大影響，換言之，後京都協定將宣告全球低碳社會、低碳經濟之到來。由此發展可以預期「氣候變化綱要公約」下一階段，將針對高排放量之「新興工業國」列為管制對象。然而，化石燃料之能源轉換為推動經濟發展之動力，隨著經濟快速成長，需要更多能源動力，在互為因果關係連結之下，如何避免國家整體經濟受到重創，與兼顧 CO₂ 排放之減量目標，成為各國政府制定減量措施之焦點課題與重要關鍵。

表 1-1 附件一國家履行京都議定書減量承諾執行成效

附件一國家	1990-2007 變化(%) 包含 LULUCF	1990-2007 變化(%) 不含 LULUCF	減量目標 (%)
拉脫維亞*	-478.29	-54.71	-8
愛沙尼亞*	-60.31	-47.49	-8
立陶宛*	-59.70	-49.59	-8
烏克蘭*	-53.97	-52.92	0
羅馬尼亞*	-52.36	-44.83	-8
白俄羅斯*	-48.58	-38.04	0
保加利亞*	-46.39	-43.33	-8
俄羅斯聯邦*	-40.30	-33.94	0
斯洛伐克*	-38.26	-35.91	-8
匈牙利*	-36.37	-34.79	-6
波蘭*	-33.21	-29.96	-6
挪威	-22.02	10.78	+1
捷克共和國*	-21.59	-22.54	-8
德國☆	-20.81	-21.32	-8
斯洛汶尼亞*	-20.28	1.88	-8

⁴ EU. (2003). Directive 2003/87/EC 下載日期：2010/9/12
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0087:EN:NOT>

表 1-1 附件一國家履行京都議定書減量承諾執行成效(續)

附件一國家	1990-2007 變化(%) 包含 LULUCF	1990-2007 變化(%) 不含 LULUCF	減量目標 (%)
英國☆	-17.84	-17.29	-8
歐盟☆	-14.30	-12.25	-8
法國	-11.80	-5.26	-8
摩那哥*	-9.26	-9.26	-8
比利時☆	-8.46	-8.34	-8
盧森堡△	-6.03	-1.56	-8
丹麥△	-5.64	-3.30	-8
歐洲共同體☆	-5.57	-4.27	0
克羅埃西亞*	-4.07	3.22	-5
荷蘭△	-2.12	-2.12	-8
芬蘭	0.02	10.56	-8
瑞士△	0.49	-2.74	-8
列支敦士登*	7.24	5.65	-8
義大利	7.36	7.06	-8
奧地利	7.56	11.29	-8
日本	8.16	8.24	-6
瑞典☆	12.72	-9.07	-8
美國**	15.79	16.81	-7
冰島	16.06	31.82	+10
紐西蘭	18.30	22.14	0
愛爾蘭	22.62	24.96	-8
希臘	25.24	24.91	-8
葡萄牙	30.76	38.08	-8
加拿大	46.70	26.23	-6
西班牙	55.27	53.51	-8
澳大利亞	82.00	30.02	+8
土耳其	136.74	119.12	

註：1、LULUCF 全文為 land-use, land-use change and forestry，係指土地利用、土地利用變化以及森林。

2、△：表示除經濟轉型國家外有減量的國家。

3、☆：表示已達成第一承諾期減量目標國家，經濟轉型國家則以*表示。

其中**表示美國尚未批准京都議定書。

資料來源：能源產業溫室氣體自願性減量計畫輔導與管理
工業技術研究院整理資料

第二節 研究目的

探討經濟發展與環境污染間抵換之關係的研究，主要依據 Grossman 與 Kruger 於 1995 年所提出之環境顧志耐曲線 (Environmental Kuznets Curve, EKC)，當 EKC 倒 U 型曲線成立，表示溫室氣體排放量，隨著各國所得水準提高後逐漸受到抑制。Kruger 認為在經濟發展初期，環境污染隨著國家經濟發展而逐漸惡化，當國民之所得水準超過某一轉折點 (turning point) 時，因產業結構逐漸轉型，經濟發展與環境污染之間會產生「脫鉤」現象，致使經濟發展與環境污染之關係呈現 EKC 倒 U 型曲線 (Selden & Song, 1994; Galeotti et al, 2006)。然而，亦有學者提出 CO₂ 排放量與經濟發展為正相關，並沒有呈現 EKC 倒 U 型曲線，即 CO₂ 排放量不會隨著經濟發展而有遞減之現象 (Vincent, 1997; List & Gallet, 1999; Andreon & Levinson, 2001; Sinha, 2010)。學者認為此種現象可歸因於 EKC 倒 U 型曲線並非全然自動形成，需輔以政府環境法規政策之干涉，當污染範圍擴及全球性，更要仰賴國際間之減量合作政策。

隨著國際間以碳權交易市場機制來解決環境污染問題之發展趨勢來看，碳排放權交易是因法規管制而衍生之市場，對不同之產業或地區將有不同之影響，由傳統實證結果發現 CO₂ 排放與所得在不同國家間呈現出 I(0) 與 I(1) 之不同結果，若以慣例將所有排放量視為一體，其採行之分類方法效果有限。有鑑於此，本文將結合橫跨 70 個國家在 1973 至 2007 年間之資料，依歷史地緣關係等特性，將樣本國家區分為歐盟地區 15 國、東南亞地區 14 國、美洲地區 17 國、中東及非洲地區 22 國，另將參與碳排放交易國家依是否受京都議定書轄定分為歐盟強制性碳交易市場 15 國、國際性自願性交易市場 7 國、來探討經濟發展與碳排放量之關係，以別於過去之分類方法。茲將研究目的歸納如下：

- 一、透過縱橫資料分析法及搜集跨國多期資料，期能真實反應經濟發展與碳排放量間之關係。
- 二、依歷史地緣關係區分樣本國家，觀察不同區域間是否存在不同之 EKC 關係。
- 三、探討參與碳交易之歐盟強制性碳交易市場與國際自願性碳交易市場的國家，其 EKC 是否會更明顯呈現倒 U 型曲線，以檢視其執行成效及未來之可行性。

第三節 研究架構

本研究共分五章，第一章為緒論，敘述本研究背景、動機、研究目的及研究架構。第二章為文獻探討，針對本研究所探討問題之國內外相關文獻整理及回顧。第三章為研究方法，介紹研究理論架構方法。第四章為實證結果及分析，說明本研究實證資料之選取，資料來源以及研究期間，並以模型所呈現之實證結果進行分析說明。第五章為結論及建議，歸納本研究之結論及對後續研究者之建議。整體研究架構如圖 1-1 所示：

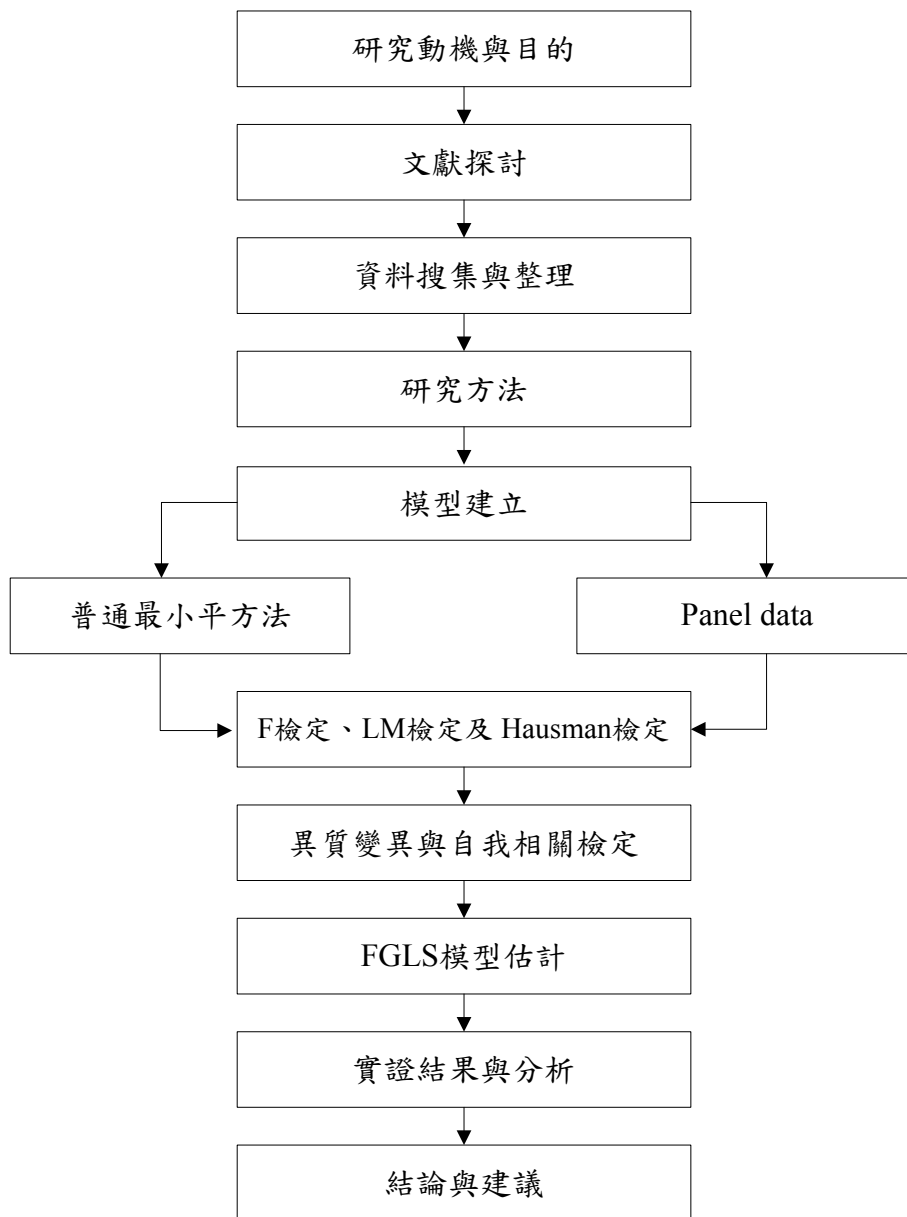


圖 1-1 研究架構圖

第二章 文獻回顧

自 90 年代以來，有關 EKC 假說之實證研究陸續產出，本章將彙整過去相關文獻之研究成果。首先概述環境顧志耐曲線；其次探討經濟發展與環境污染之關聯性；再則整理與回顧 EKC 實證研究之結果；最後介紹碳排放權交易與環境污染之關係。

第一節 環境顧志耐曲線之概述

一、環境顧志耐曲線的由來

顧志耐曲線 (Kuznets curve) 為探討所得水準與所得分配不均之關係，係由俄裔美國經濟學家 Simon Kuznets (1955) 所提出，Kuznets 認為所得分配不均度會隨著所得增加而遞增至某一水準後呈遞減之倒 U 型 (Inverted-U) 曲線，如圖 2-1 所示。其原因在於一國經濟發展初期，部分從事農業部門之就業人口移轉至工業部門，隨著經濟持續發展，拉大二部門之間的所得差距，使得所得分配逐漸趨於平均。接著陸續有文獻證實，當一國之經濟結構由農業社會邁入工業社會時，其所得分配與所得會呈現二次方之倒 U 型曲線 (Papanek & Kyn, 1986)。

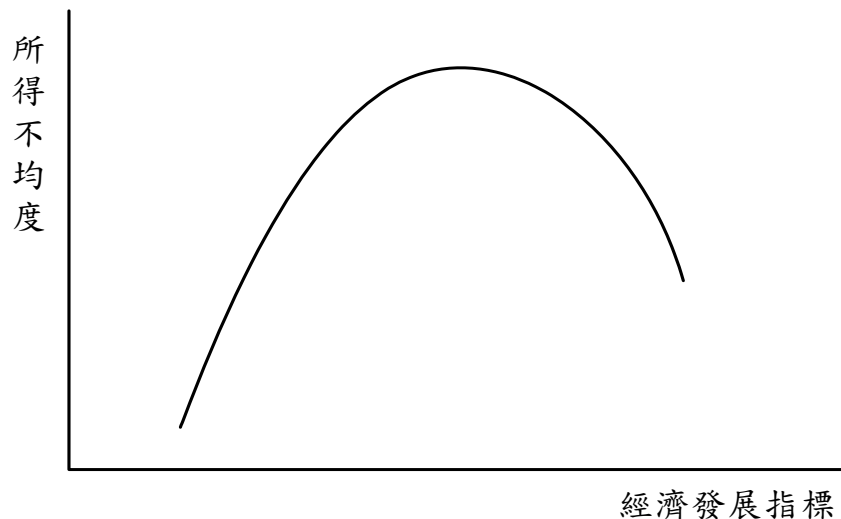


圖 2-1 顧志耐曲線

最初將顧志耐曲線運用於經濟發展與環境污染指標進行實證研究，有三篇最具代表性之研究報告，首先 Grossman and Krueger (1991) 於美國國家經濟研究局工作報告 (NBER, 1991) 中，分析北美自由貿易區協定，認為自由貿易政策與直接投資，可能帶來墨西哥環境品質惡化，並影響美國本土之環境管制標準問題。因此，將顧志

耐曲線之概念延伸至分析經濟發展與環境污染之關連性，對北美貿易區內 32 個國家中之 52 個城市進行經濟發展與環境污染實證分析，模型為level-level，所得變數最高為三次方，解釋變數為人口密度、時間趨勢、位置虛擬變數，經實證結果發現二氧化硫 (SO₂)、黑煙 (dark matter) 存在倒 U 型曲線，且當人均所得達到 4,000~5,000 美元 (1985年美元價格) 轉折點時，經濟發展趨於改善環境污染問題，而此收入水平與墨西哥當時之人均所得一致，學者將此現象歸因於所得水準提高所帶來之消費行為的改變，以及人民要求改善環境品質之政治壓力量所促成。

其後，世界銀行發展報告 (1992) 引用 Shafik and Bandyopadhyay (1992) 之研究，其針對 149 個國家之 10 種不同環境因素，包含：缺乏乾淨飲用水、缺乏衛生設備、懸浮微粒 (SPM)、SO₂、1961-1986 年森林面積之改變、1961-1986 年每年森林被濫墾濫伐之面積、河川中之溶氧量、河川中排泄物之大腸菌含量、地區中人均排放廢棄物及人均碳化物排放量與人均 GDP 進行實證研究，實證結果發現缺乏衛生設備與缺乏乾淨用水二項指標，隨著經濟發展而下降，呈現單調遞減關係；二氧化硫及懸浮微粒與人均 GDP 呈現倒 U 形曲線，其轉折點為 3,000~4,000 美元間，表示不同的環境污染與經濟發展之間存在不確定之關係。

接著，Panayotou (1993) 於國際勞工組織研究發展報告中，提出以迴歸式估計人均 SO₂、SPM、氮氧化物 (NO_x) 之排放量，其中人均 SO₂、SPM、NO_x 之排放量，以人均所得為解釋變數，森林濫墾以人均所得及人口密度作為解釋變數。實證結果發現，所有指標符合 EKC 倒 U 形曲線，SO₂ 之轉折點為 3,000 美元左右；SPM 轉折點為 4,500 美元；NO_x 轉折點為 5,500 美元；森林濫墾之轉折點為 823 美元。爾後，Grossman and Krueger (1995) 於「Economic Growth and the Environment」中，正式提出此一假說，因與願志耐曲線相似，故稱為環境願志耐曲線 (Environmental Kuznets curve, EKC)。

二、環境願志耐曲線可能存在之曲線形態

EKC 為研究經濟發展 (y) 對環境污染 (E) 之影響，即 E 是 y 之函數，各學者以各種假設條件並考量不同之主導因子，導出各種數學函數模式，認為 EKC 函數形式，不僅止於二次方之倒 U 型曲線關係，亦會呈現一次方之線性或三次方之 N 型關係 (Shafik and Bandyopadhyay, 1992)，一般 EKC 模型設定函數如下：

$$E_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 Y_{it}^3 + \beta_4 t + \beta_5 v_{it} + e_{it}$$

其中，E 為環境污染指標 (如 CO₂ 排放量)；Y 為經濟發展指標 (如人均 GDP)；
 v 為其他外生變數 (如人口密度)； t 為時間趨勢； e 為誤差項且 $e_{it} \sim iid(0, \sigma_e^2)$ 。

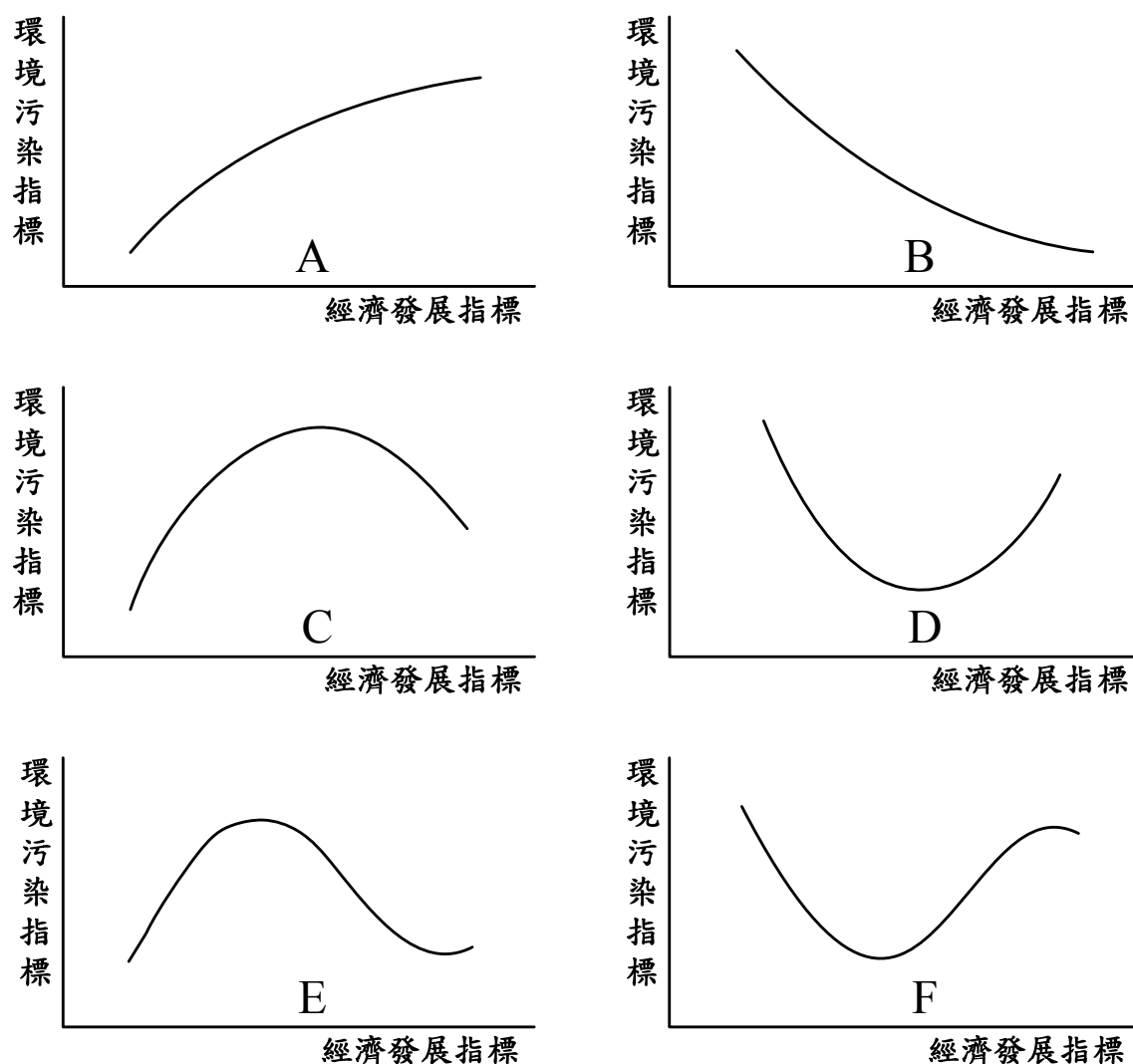


圖 2-2 經濟發展與環境污染指標之 EKC 形態

其迴歸檢定係數意涵如下：

1. 若 $\beta_1 > 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ 成立，則 EKC 為單調遞增之線性關係，說明經濟發展帶來環境污染的持續惡化，如圖2-2A。
2. 若 $\beta_1 < 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ 成立，則 EKC 為單調遞減之線性關係，說明經濟發展帶來環境污染的持續改善，如圖2-2B。
3. 若 $\beta_1 > 0$ 、 $\beta_2 < 0$ 且 $\beta_3 = 0$ 成立，則 EKC 為倒 U 型之二次項，說明在經濟發展的高速階段，環境污染會隨經濟成長不斷改善，如圖2-2C。

- 4.若 $\beta_1 < 0$ 、 $\beta_2 > 0$ 且 $\beta_3 = 0$ 成立，則 EKC 為 U 型之二次方關係，說明環境污染隨著經濟發展之提升而下降，下降至某一水準後，又逐漸上揚，如圖2-2D。
- 5.若 $\beta_1 > 0$ 、 $\beta_2 < 0$ 且 $\beta_3 > 0$ 成立，則 EKC 為 N 型曲線之三次項表示環境污染與經濟發展呈現不穩定狀態；環境污染隨著經濟發展之提升，而獲得改善，隨後在更高所得時環境品質再次惡化，如圖2-2E。
- 6.若 $\beta_1 < 0$ 、 $\beta_2 > 0$ 且 $\beta_3 < 0$ 成立，則 EKC 呈現反 N 型之三次方關係，如圖2-2F。
- 7.若 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ 成立，則 EKC 為水平線，即環境污染不受經濟發展指標之影響。

綜觀上述，EKC 為描述經濟發展與環境污染在不同時期之組合形式，從短期而言，二者之關係可能是其中任何一種形式，就長期來探討，二者關係可能呈現波浪形之狀態，即隨著經濟發展，環境污染可能出現惡化之趨勢，亦可能呈現改善之趨勢，而上述六種形式皆為其中的一個過程。

第二節 經濟發展與環境污之關係

經濟發展與環境污染之間為雙向作用關係 (Dinda, 2004)，環境為經濟發展提供各種免費資源，而經濟發展為社會帶來日新月異的科技與產品，從二者間相互作用來看，環境污染是經濟發展無限擴張下之副產品。在經濟發展過程中，工業對經濟與環境的影響遠超過其它產業，而工業發展以「先污染，後治理」的不可持續發展模式，主導了整個社會的經濟發展，導致自然環境遭到破壞、環境資源開始稀缺，終因溫室效應引發不可逆之氣候變遷，激起了社會大眾對環境惡化的關注。然而，因經濟發展所造成的環境破壞，即使花費更長久的時間與投入大量資源來進行環境復原工作，亦難以抵消已對環境造成的破壞。故應以此為鑑，在促進經濟發展同時，亦要確保環境品質之問題，以達到兩者和諧發展之狀態。本節將引用學者所提出之 EKC 觀點，探討經濟發展與環境污染之間的關係。

一般而言，經濟發展主要透過規模效應 (Scale Effect)、結構效應 (Composition Effect) 及技術效應 (Technology Effect) 三種因素影響環境品質 (Grossman and Krueger, 1993)。所謂規模效應指因經濟活動規模之擴大，致使污染排放量增加，導致環境惡化，在結構與技術效應不變的情況下，規模效應作用將使環境惡化，如圖2-3A；結構效應係指由高污染密集工業轉向輕污染工業致使環境污染獲得改善，即當經濟結構由農業社會步入工業社會時，對環境污染所造成之衝擊較大，當經濟持續發

展，產業結構由工業化邁入以服務業為導向之經濟體時，引發人民提升對環境品質之需求，使環境污染程度得以改善 (Panayotou, 1993)。在規模與技術效應不變的情況下，經濟結構作用將使環境污染呈現先惡化後改善的趨勢，如圖 2-3B；技術效應即是透過技術作用而提高資源使用效率及污染減排以達到環境品質之提升，即環境污染在工業化階段快速增加，係因人民對所得與工作機會比要求空氣品質與潔淨飲水更加重視，再者因環境法規及無法負擔污染減量之費用，造成環境品質急速惡化，但隨著所得之提升及工業部門使用更加潔淨、有效率之生產技術來生產，可使環境污染降低 (Dasgupta et al, 2001)，技術效應作用可能消除規模效應對環境之負面影響，使環境污染持續獲得改善，如圖 2-3C。

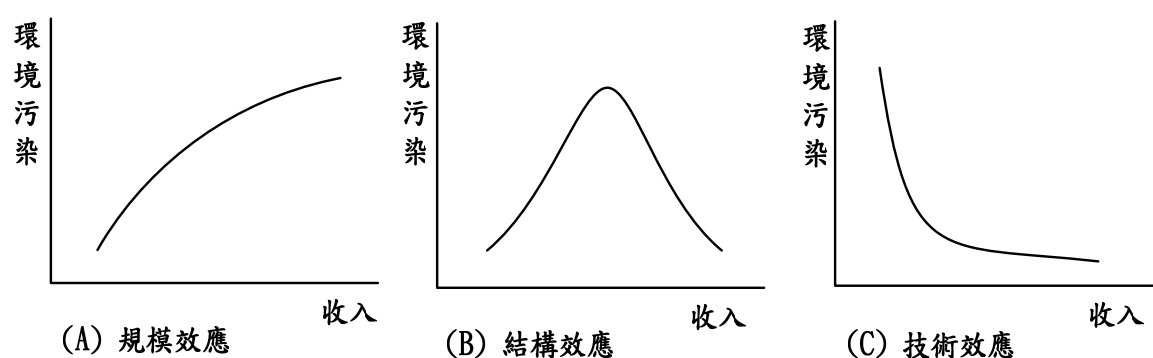


圖 2-3 經濟發長對環境污染之影響

因此，經濟發展對環境污染之影響為主導性，而非決定性之作用。隨著國際貿易自由化，國家之產業結構及貿易政策會隨之改變，若源於環境政策之差異，該國較不受限制之污染密集產業易於發展，將導致當地環境品質惡化之結構效應。當各國經濟發展日益活絡與跨國貿易趨於頻繁之際，對能源需求及使用日漸增加，將引發環境品質惡化之規模效應。最後，因環境政策之制定，引進新生產技術及污染防治技術，產生減緩環境污染之技術效應。當有助於改善環境污染之結構效應及技術效應之影響大於規模效應時，環境污染將獲得到改善。

唯，環境有其生態門檻，當環境污染處於生態門檻之下時，環境有自我淨化及復原之功能，若污染問題積累到超越其所能承載之負荷時，自然生態將會崩潰變得不可逆，當社會大眾意識到環境惡化已關乎生存問題時，才開始採取環境治理行動，即使付出更長的時間與更高昂的代價，受到破壞的環境不可能再恢復原狀，而龐大的污染整治成本，也會為國家之經濟發展帶來負面影響。因此，我們必需尋求經濟發展與環

境污染之間可能存在的組合，而 EKC 恰為環境品質與經濟發展提供了一個和諧發展的契機。觀察 EKC 在經濟發展過程中，未採取任何環境污染改善政策，如要求企業對污染個體所產生之外部成本予以內部化、對能源使用實施價格補貼、財產權未明確定義等，其 EKC 呈現較陡峭型態，如圖 2-4 中之 A 曲線；若有採取妥善之環境保護措施，有效降低經濟成長帶來之環境破壞因素，其 EKC 曲線如圖 2-4 中之 B 曲線。透過 EKC 所刻畫之現象，對產權不清環境之外部性所造成的市場失靈，予以明確的界定；對資源使用與污染行為補貼所產生的政策失靈，則取消對環境有害之補貼，利用環境外部性內部化及環境政策等相關制度的反饋機制產生作用，使 EKC 之峰值降低到生態門檻以下，把握在經濟發展的同時，意識到環境保護之重要性，以實現環境保護與經濟發展之永續發展為考量。

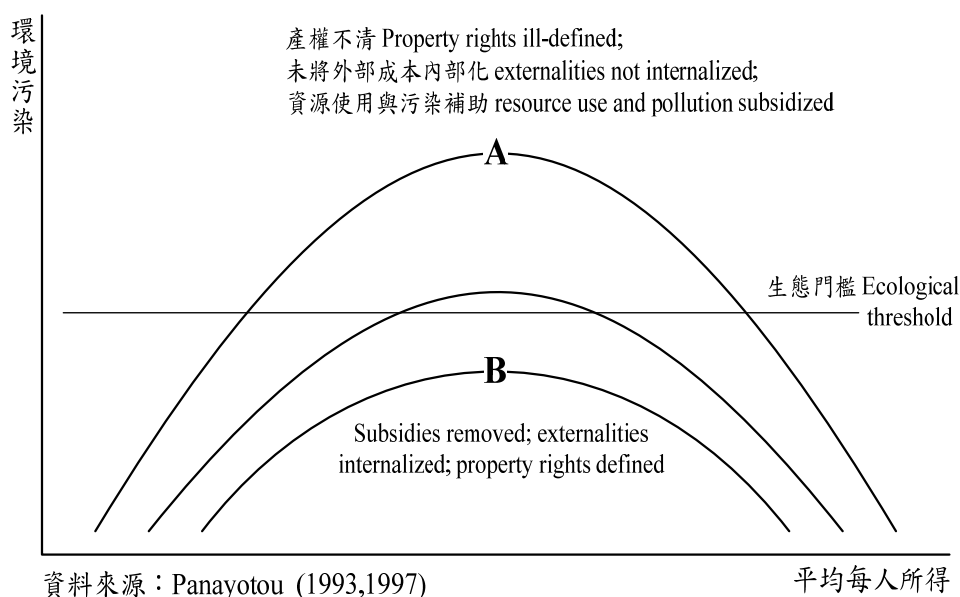


圖 2-4 環境政策對 EKC 之影響

綜上所述，對於政策制定者而言 EKC 假說是重要之參考議題，卻不是做為忽視環境污染問題之藉口。因為環境污染問題非常複雜，不是單靠經濟發展可以單獨解決，基於國家永續發展之考量，更不能以經濟發展為前提恣意破壞環境品質，應該及早建立一個明確機制，以維護每個地區、國家乃至全球之環境品質。

第三節 環境願志耐曲線實證回顧與整理

本節將彙整有關 EKC 之實證研究結果。首先從實證不同國家或地區之經濟發展與環境污染間是否存在 EKC 假說來探討；其次以不同角度對 EKC 假說進行理論或政策之解釋；然後探討 EKC 轉折點；最後對 EKC 相關實證研究之批評。

一、實證不同國家或地區之經濟發展與環境污染間是否存在 EKC 假說

Selden and Song (1994) 以 World Resources Institute 在 30 個不同所得水準國家之綜合資料，監測懸浮微粒物質、二氧化硫、氮氧化物及一氧化碳四個空氣污染指標，其函數型態如下：

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_d d_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2-1)$$

其中 E_{it} 為第 i 國第 t 年人均污染排放量； Y_{it} 為第 i 國第 t 年人均 GDP； d_{it} 為第 i 國第 t 年人口密度； ε_{it} 為隨機誤差項， $\varepsilon_{it} = c_i + v_t + u_{it}$ ，其中 c_i 為國家效果， v_t 為時間效果， u_{it} 為剩餘之誤差項；且分別考慮固定效果與隨機效果。實證結果如下：

1. 上述四個污染物質皆與人均 GDP 呈現倒 U 字型曲線。在固定效果下之轉折點為：二氧化硫 \$8,916、氮氧化物 \$12,041、懸浮微粒物質 \$9,811 及一氧化碳 \$6,241；在隨機效果下之轉折點為：二氧化硫 \$10,681、氮氧化物 \$21,773、懸浮微粒物質 \$9,617 及一氧化碳 \$19,092 (以 1985 年美元衡量)。作者認為這些污染物排放會對環境品質帶來直接影響，因為它們的防治成本都是相對較低，所以計劃決策者較有意願進行這幾類污染物之防治工作。
2. 人口密度估計係數為顯著負值，係因人口密度較低之國家，比較沒有迫切執行嚴格排放標準的壓力，且交通工具為空氣污染主要來源，所以在人口稠密、居住愈集中地區，愈能減少交通工具之使用。

Holtz-Eakin and Selden (1995) 以 130 個國家 1951~1986 年之縱橫資料，檢測人均所得與 CO₂ 排放量之關係，然後預測總排放量和 CO₂ 排放量在不同國家之分布情況。其函數型態如下：

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 T_t + \beta_4 F_i + \varepsilon_{it} \quad (2-2a)$$

$$\ln E_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (\ln Y_{it}) + \alpha_2 (\ln Y_{it})^2 + \alpha_3 T_t + \alpha_4 F_i + \varepsilon_{it} \quad (2-2b)$$

其中，E 為人均 CO₂ 排放量；Y 為人均 GDP；i 為國家；t 為時間；F 為國家之固定效果；T 為時間之固定效果；ε 為隨機誤差項。其實證結果如下：

1. 以估計式 (2-2a) 及 (2-2b) 估計結果，其 CO₂ 排放量與人均所得均為倒 U 型曲線。
2. 以檢測人均所得與 CO₂ 排放量之估計值，預測全球之排放量，獲得以下四個結論：
 - (1). 當經濟成長時，CO₂ 的邊際排放傾向 (MPE) 會減少，若以橫斷面資料分析此結果不易被發現。
 - (2). 縱使減少 MPE，所預測之全球 CO₂ 排放量以每年平均 1.8% 之成長率持續成長至 2025 年。此與其他學者所預測之 CO₂ 排放結果相似。
 - (3). 隨著全球經濟持續成長，未來每年 CO₂ 排放量，及其在大氣中之累積量不會有大幅度之改變。

Wu (1998) 以台灣 23 個縣市 1982~1995 年之資料，分析台灣經濟發展與環境品質之關係，環境品質指標包括：懸浮微粒物質、落塵、自來水普及率、不合格飲用水比例以及固體廢棄物處理量；並利用特徵價格法 (hedonic price approach) 建構兩項總環境品質指標 EQI_a 和 EQI_b 來表示，其函數型態如下：

$$E_{it} = \alpha + \beta_1 (\ln Y_{it}) + \beta_d d_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2-3a)$$

$$E_{it} = \alpha + \beta_1 (\ln Y_{it}) + \beta_2 (\ln Y_{it})^2 + \beta_d d_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2-3b)$$

$$E_{it} = \alpha + \beta_1 (\ln Y_{it}) + \beta_2 (\ln Y_{it})^2 + \beta_3 (\ln Y_{it})^3 + \beta_d d_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2-3c)$$

其中，E 為環境品質指標；i 為縣市；t 為時間指標；Y 為人均所得；d 為人口密度；ε 為隨機誤差項，以 OLS 進行估計，實證結果如下：

1. 落塵較適合以估計式 (2-3a) 估計，落塵與所得之間呈現反向直線關係。
2. 懸浮微粒物質、自來水普及率、不合格飲用水比例以及總環境品質指標 EQI_a 較適合以估計式 (2-3 b) 估計，即此四項環境品質指標與所得之間存在倒 U 型關係。
3. 作者將五項環境品質標與人均所得之關係繪成圖，結果與上述估計結果有出入；如：懸浮微粒與所得呈負向關係；自來水普及率與所得之間呈現正向關係，其圖形為較接近倒 U 型之左半邊，表示自來水普及率隨著所得增加而逐漸改善。

4. 固體廢棄物處理量與總環境品質指標 EQI_b 較適合以估計式 (2-3c) 估計。其中固體廢棄物處理量與人口密度呈現負向關係，為唯一受人口密度影響之指標；固體廢棄物處理量與所得呈現正向關係；總環境品質指標 EQI_b 呈倒 U 型關係。
5. 作者以 EQI_a 與 EQI_b 兩項總指標分析，當所得水準由轉折點提高至 1995 年的 NT\$ 168,000 (以 1982 年價格計算) 時，其相對應之貨幣價值占當年所得之比例分別為 1.9% 與 4.6%，此結果顯示所得愈高並不代表人民願意投入愈多之經費來改善環境品質。

李堅明及謝碧鳳 (2002) 以空氣污染指標 (PSI)、臭氧、二氧化硫、噪音、酸雨等環境品質指標進行 EKC 假說之檢測。其函數型態如下：

$$E_i = \beta_0 + \beta_1 Y + \beta_2 Y^2 + \beta_3 Y^3 \quad (2-4)$$

其中，E 為環境品質指標；Y 為人均所得；i 為環境品質指標之總類。實證結果如下：

1. 臭氧及酸雨與所得水準呈現 N 型關係，表示隨著所得提高，臭氧及酸雨之環境品質處於先惡化後趨於改善再惡化之狀態。
2. PSI 及二氧化硫與所得水準呈現倒 N 型關係，表示隨著所得提高，PSI 與二氧化硫之環境品質為先獲得改善後再惡化，然後再趨於改善之情況，即政府相關單位對上述兩種環境指標所施行的改善措施已出現成效。

Liao and Suen (2006) 以 198 個家國 1990~2000 年之資料，檢測 CO_2 排放與人均 GDP 兩者之間關係，所得最高為三次方進行估計，其函數型態如下：

$$E_i = \alpha_0 + \alpha_1 Y_i + \alpha_2 Y_i^2 + \alpha_3 Y_i^3 + \varepsilon_i \quad (2-5)$$

其中，E 為人均 CO_2 排放；Y 為人均 GDP； ε 為隨機誤差項；實證結果如下：

1. 在所得二次方，人均 CO_2 排放與人均 GDP 呈現 EKC 倒 U 型關係。
2. 進一步以分量迴歸模型 (Quantile Method) 分析，結果顯示之前所得到之倒 U 型關係並不明顯。為了解決此問題，作者以每單位能源使用所排放之 CO_2 取代先前的人均 CO_2 排放，終於使 EKC 倒 U 型關係再度成立。如此調整係因作者認為大部分 CO_2 排放起因於能源之使用。

二、從不同角度對 EKC 假說進行理論或政策之解釋

Hettige、Mani and Wheeier (1997) 以世界銀行之國際資料庫，探討工業部門產出佔總產量之比例、工業部門之水污染密集度、工業部門之水污染量與國民所得之關聯性，以OLS 估計，其函數型態如下：

$$E = m(Y) \times Q \times \rho(Y) \times k(Y) \quad (2-6)$$

其中，E 為工業部門之水污染量；Y 為每人所得；m 為工業部門產出佔總產量之比例；Q 為總產出； ρ 為工業之水污染密集度；k 為污染防制程度；其中 m、 ρ 、k 為人均所得的函數。實證結果如下：

1. 工業部門產出佔總產量之比例與人均所得存在倒 U 型關係，轉折點為5000~6000 美元；工業部門之水污染密集度與人均所得為負向關係，可能原因為生產技術較環保部門之成長快速。
2. 水污染之管末污染密集度則隨人均所得之增加而下降。
3. 將上述之估計結果代入工業部門水污染量與國民所得關聯之估計式，其結果一開始為正向關係，但所得水準達到 7000 美元以後便維持固定水準，可能原因為管末污染密集度之下降與產出之成長相互抵銷所致，故工業部門水污染量與所得水準沒有倒 U 型關係。

Agras and Chapman (1999) 於動態 EKC 模型中加入能源價格變數，並以國際能源機構 (IEA) 之資料估計能源消耗量與所得水準之間的關係；以橡樹嶺國家實驗室 (ORNL) 之資料估計 CO₂ 排放量與所得水準之關係。其函數型態如下：

$$\begin{aligned} \ln(E_{it}) = & \alpha_i + \beta_1 \ln(E_{it-1}) + \beta_2 \ln(Y_i) + \beta_3 [\ln(Y_{it})]^2 + \beta_4 \ln(M/GNP)_{it} \\ & + \beta_4 \ln(X/GNP)_{it} + \beta_5 \ln(P_t) + \beta_6 + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2-7)$$

其中，E 為環境品質指標；i 為國家；t 為時間趨勢；t-1 為前一年之變數； α 為國家之固定效果；Y 為人均實質所得；M/GNP 為進口製造品值佔國內製造品總產值之比例；X/GNP 為出口製造品佔國內製造品總產值之比例；P 為以汽油價格替代能源價格。其實證結果如下：

1. 能源消耗量及 CO₂ 排放量二項指標與所得水準間呈現倒 U 型關係。其轉折點分別為 62,000 美元及 13,630 美元，而 CO₂ 排放量之轉折點較能源消耗量低，作者認為在高所得水準下，會使用較乾淨之化石燃料、核能及水力發電取代燃煤與石油之使用。
2. 能源價格之估計數為顯著，表示能源價格對能源耗用量與 CO₂ 排放量會產生影響，能源消耗量與 CO₂ 之短期價格彈性分別為 -0.09、-0.08，長期為 -0.37、-0.49；且由能源消耗估計中發現，其年變動率很小，因此，作者認為上一年度之能源消耗量可作為今年能源消耗量的預測指標，且能源價格是良好的政策工具之一。

Alpay and Mahmud (2002) 以 Grossman and Krueger (1995) 之 GEMS 資料，進行分階段估計，第一階段依住宅區、商業區和與工業區分為三區樣本，第二階段再將此三區樣本依市中心與郊區再區分為六個樣本群，以此九個樣本資料，利用非參數估計法估計二氧化硫排放量與所得水準之關係。其函數型態如下：

$$E = f(Y, d, CO) \quad (2-8)$$

其中，E 為二氧化硫排放量；Y 為人均所得；d 為人口密度；CO 為表示監測站位於沿海地區之虛擬變數。實證結果如下：

1. 以住宅區、工業區和商業區等三區樣本進行分析，只有非沿海地區之住宅區和商業區呈現 EKC 假設成立。
2. 以三區樣本之市中心資料進行估計，結果皆顯示二氧化硫排放量與所得水準間呈倒 U 型字關係。
3. 以三區樣本之郊區資料進行估計，結果 EKC 假設均不成立。

Bimonte (2002) 以保護區占國家領土之百分比作為被解釋變數，檢定其與所得之間是否存在 EKC 假說。其函數型態如下：

$$PA_i = \beta_1 \log Y_i + \beta_2 (\log Y_i)^2 + \beta_3 \log N_i + \beta_4 G_i \quad (2-9)$$

其中，PA 為保護區占國家領土之百分比；Y 為人均 GDP；i 為國家；N 為每千人

報紙之年銷售數量，代表資訊取得；G為吉尼指數以百分比為單位，代表所得分配不均度；實證結果如下：

1. 作者認為會造成環境品質之危害，源於存在大氣中之污染存量，而每一期污染排放量只是其中一部份，不是誘發最直接衝擊之因子。作者以保護區占國家領土之百分比作為被解釋變數，若要符合環境惡化後再改善之 EKC 關係，則保護區占國家領土之百分比與人均 GDP 之關係，應為先減少再漸增的 U 型關係，其轉折點代表人們願意接受之最低污染程度。實證結果顯示保護區占國家領土之百分比與人均 GDP 呈現 U 型關係。
2. 資訊取得與所得分配變數之係數各為正、負號，表示資訊越發達、所得水準越平均，保護區占國家領土之百分比越大。
3. 將所得分配與資訊取得變數固定於平均水準，並分別估計出三種相對應之訊取得水準(N=110、242、374) 及三種不同之所得分配不均度 (G=37、31、25) 之 EKC 關係。實證結果發現，隨著資訊取得增加或所得分配不均度變數減小，EKC 越往上移，可見，污染轉折點與社會之所得分配不均度及資訊取得程度都有密切之關係。

Friedl and Getzner (2003) 以奧地利1960~1999 年資料，檢測奧地利之 CO₂ 排放與經濟發展之關係，藉此觀察 EKC 是否適用於單一國家。其函數型態如下：

$$E_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + \beta_4 P_t + \beta_k Z_t + \varepsilon_t \quad (2-10)$$

其中，E 為環境壓力變數 (CO₂ 排放)；t 為時間指標；Y 為人均 GDP；P 為溫度變數；Z 為其他解釋變數；ε 為隨機誤差項；實證結果如下：

1. 以人均 GDP 三次方之 N 型關係，最能夠解釋奧地利人均 GDP 與 CO₂ 排放之關係。
2. 在三次方函式中加入進口及服務業占 GDP 之比例。結果顯示進口及服務業占 GDP 之比例與 CO₂ 排放呈現顯著負向關係，表示當進口占 GDP 之比例增加時 CO₂ 排放會隨之減少，此結果印證了汙染天堂假說 (pollution heaven hypothesis)；CO₂ 排放會隨著服務業占 GDP 之比例增加而少，此說明了經濟體系之結構改變對 CO₂ 排放產生影響。

三、EKC 轉折點之探討

Grossman and Krudger (1995) 以 GESM 在 1977~1990 年已開發國家及開發中國家之各城市空氣品質資料及全球河川流域監測之水質資料，探討其與人均 GDP 之間的關係，其函數型態如下：

$$Y_{it} = \beta_1 G_{it} + \beta_2 G_{it}^2 + \beta_3 G_{it}^3 + \beta_4 \bar{G}_{it-} + \beta_5 \bar{G}_{it-}^2 + \beta_6 \bar{G}_{it-}^3 + \beta_7 X_{it}' + \varepsilon_{it} \quad (2-11)$$

其中， Y_{it} 為第 i 個監測站第 t 年之空氣、水質品質指標； G_{it} 為第 i 個監測站所在國家之第 t 年人均 GDP； \bar{G}_{it-} 為第 i 個監測站所在國家前三年人均 GDP 之均值； X_{it}' 為其他變數的向量； ε_{it} 為隨機誤差項。其估計結果如下：

環境種類	環境污染指標	經濟成長	轉折點
空氣品質	二氧化硫	U 型	\$ 4,053
	黑煙	倒 U 型	\$ 6,151
	重微粒	單調遞減	
水質-水中含氧量	河川中之溶解氧濃度	U 型	
	河川中之生物需氧量	倒 U 型	\$ 7,623
	河川中之化學物需氧量	倒 U 型	\$ 7,853
	河川中之硝酸鹽	倒 U 型	\$ 10,524
水質-水中廢棄污染含量	河川中之大腸杆菌	倒 U 型	\$ 7,955
	河川中之總體大腸杆菌	N 型	
水質-重金屬污染	河川中之鉛含量	N 型	
	河川中之鎘含量	反 N 型	
	河川中之砷含量	倒 U 型	\$ 4,900

資料來源：Grossman and Krudger (1995) pp367

Barbier (1997) 整理多位學者之研究，歸納出特定染物對每人所得之 EKC 轉折點如表2-1 所示。所根據之模型為一般學者研究 EKC 所採用之基本模型：

$$E_{it} = f(Y_{it}, C_{it}, X_{it}) \quad (2-12)$$

其中， E_{it} 為第 t 年國家 i 之環境品質； Y_{it} 為第 t 年國家 i 之每人所得； C_{it} 為國家之個別效應； X_{it} 為第 t 年國家 i 之外生因素（如技術程度）。

表 2-1 Barbier 整理各研究對特定染物與每人所得之 EKC 轉折點

空氣污染							單位：美元
學者	二氧化硫	懸浮微粒	氮氧化物	一氧化碳	二氧化碳	氯氟烴	
Grossman and Krueger (1993)	4,107						
Seldon and Song (1994)	10,700	9,600	21,800	19,100			
Shafik (1994)	3,670	3,280					
Panayotou (1995)	3,000	4,500	5,500				
Grossman and Krueger (1995)	4,053						
Holtz-Eakin and Seldon (1995)					35,428		
Cole et al.(1997)	6,900	7,300	14,700	9,900		12,600	
Moomaw and Unruh (1997)					12,800		
Panayotou (1997)	5,000						
其他污染							單位：美元
	大腸桿菌	生物需氧量	化學需氧量	砷	硝酸鹽	伐林	
Cropper and Griffiths (1994)						4,760	
						5,420	
Antle and Heidebrink (1995)						2,049	
Panayotou (1995)						823	
Grossman and Krueger (1995)	7,955	7,623	7,853	4,900			
Cole et al (1997)					15,600		

資料來源：Barbier (1997) pp375

根據 EKC 理論，在倒 U 型曲線中，所得轉折點為一個臨界點，代表當所得增加到此臨界點時，環境污染將有所改善不再繼續惡化。各研究據此理論，藉以評估一國在經濟發展過程中之污染物的排放趨勢。由表 2-1 觀之，各研究對於污染物之所得轉折點有相當大之差異，以二氧化硫為例，Panayotou (1995) 所求得之所得轉折點為 3,000 美元與 Seldon & Song (1994) 之 10,700 美元，其差距高達 7,700 美元，故以所得轉折點來評估污染物之排放情形，可能存在極大之差異性，然此種差異性可凸顯出屬於區域性之污染問題；若以轉折點為分界，上升階段之 EKC 表示隨著經濟發展將造成環境品質惡化，其原因可能是高污染產業的移入、資源之使用與浪費、人民偏好與意識，及政府環境法規不足等因素；下降階段之 EKC 表示隨著經濟發展到一個臨界點時，環境品質獲將得改善，此意味著促進經濟發展可以成為解決環境污染的政策目標。

四、對 EKC 相關實證研究之批評

EKC 自提出以來，固然提供了制訂環境政策之參考，亦受到許多學者之爭議。部分學者以西方國家大量統計數據實證研究，證實 EKC 存在倒 U 型曲線 (Shafik and Bandyopadhyay, 1992; World Bank, 1992; Grossman and Kreger, 1993; Selden and Song, 1994; Stern 1996)，然而，亦有不少實證結果顯示 EKC 並不存在倒 U 形曲線，而呈現一次方之線性或三次方之 N 型關係 (Vincent, 1997; List & Gallet, 1999; Andreon & Levinson, 2001; Sinha, 2010)，由此顯示 EKC 仍然存在不足之處。

(一)、EKC 無法反應環境污染帶來的反饋效果。過去學者研究 EKC 大都採用縮減式模型，然此模型為估計所得對環境品質之影響，卻不能呈現其因果方向 (Cole et al, 1997)。事實上，環境污染會對經濟發展帶來反饋效果 (Stern et al, 1996)，在低所得階段，經濟發展會受到環境惡化之嚴重影響，難以從低所得發展到高所得階段，此時經濟與環境不能發揮相互作為，而呈同步增長之狀態，亦無法達到環境改善的轉折點 (Tahvonen and Kuuluvainen, 1993)。

(二)、EKC 指標選取的客觀性。EKC 倒 U 形曲線之成立有其內在的決定因素，但因資料來源的局限，許多生態指標無法量化，且資料收集時間較短，存在著資料不夠全面之問題。傳統之指標選取，多以污染物之排放量作為環境指標，對此有學者質疑其代表性，並提出污染強度說，即單位產出之污染排放比總排放量更具意義，因為在經濟發展過程中，污染強度之強弱更能體現污染變動之全貌 (Tisdell, 2001)。因此，如何建立一套全面客觀之指標及體系，仍需在此領域中進一步探討。

(三)、EKC 忽略自然生態門檻之不可回復性。環境有其生態門檻，當環境污染處於生態門檻之下時，環境有自我淨化及復原之能力，若超越其所能承載之負荷，自然生態將會崩潰變得不可逆，即使未來有更高之經濟發展與環境保護限制，皆難以抵消已造成之環境破壞。但是，過去實證研究並未考慮在環境污染惡化下，其不可回復性對經濟發展所產生之影響 (Arrow et al, 1995)。

(四)、EKC 軌跡偏離現實問題。由於高度經濟發展之國家，其環境管制標準較開發中國家嚴格，因此，藉由進口高污染產品來改善國內之環境品質，使得污染源由進口國移轉至出口國，導致開發中國家成了「污染庇護所」(Dinda, 2004)。且隨著國際貿易之競爭壓力日益加劇，各國以保持競爭力為借口，從而放寬環境管制標準，導致污染隨著所得之提高而保持不變，造成 EKC 呈現 L 型之假象。

表 2-2 顧志耐曲線實證文獻整理

作者	被解釋變數	解釋變數	結 果	國家
Grossman & Krueger(1991)	二氧化硫 (SO ₂)、黑煙、懸浮微粒物質 (SPM)。	人口密度、時間趨勢、位置虛擬變數	SO ₂ 與黑煙存在 EKC 倒 U 型	美國
Selden & Song (1994)	每人二氧化硫、懸浮微粒物質、氮氧化物、一氧化碳。	人均 GDP、人口密度	四個污染物皆存在 EKC 倒 U 型	多國
Holtz-Eakin & elden (1995)	每人 CO ₂ 排放。	人均 GDP	CO ₂ 與存在 EKC 倒 U 型	多國
Hettige、Mani and Wheier (1997)	工業部門佔總產量之比例	人均GDP、工業部門之水污染密集度、工業部門之水污染量	工業部門佔總產量之比例存在 EKC 倒 U 型	多國
Wu (1998)	懸浮微粒物質、落塵、自來水普及率、不合格飲用水比例、每人固體廢棄物處理數量、兩項以特徵價格法建構的總環境指標	人均 GDP、人口密度	環境品質指標和所得水準的關係視環境指標之不同而有所差異	台灣
Agras and Chapman (1999)	能源消耗量、CO ₂	人均 GDP、進口總額佔 GDP 之比例、出口總額佔 GDP 之比例、汽油價格	能源消耗量與 CO ₂ 皆存在 EKC 倒 U 型	多國
Bimonte (2002)	保護區佔國家領土的百分比	每人 GDP、每千人報紙的年銷售數量、吉尼指數	保護區佔國家領土的百分比和 GDP 存在 EKC	多國
李堅明 謝碧鳳 (2002)	空氣污染指標、臭氧、二氧化硫、噪音、酸雨、CO ₂ 排放	每人 GDP 水準	環境品質指標和所得水準的關係視環境指標之不同而有所差異	台灣
Friedl and Getzer (2003)	每年 CO ₂ 排放總量	每人 GDP、溫度變數、進口總額佔 GDP 之比例、服務業產值佔 GDP 之比例	三次方的 N 型關係最適合	奧地利
Liao & Suen (2006)	每人 CO ₂ 排放	每人 GDP	CO ₂ 排放與 GDP 於二次方存在 EKC	多國

資料來源：本研究整理

第四節 碳排放權交易與環境污染之關係

諾貝爾經濟學獎 Ronald Harry Coase 於 1960 年發表 (The Problem of Social Cost)一文，提出政府可以明確定義財產權 (即定義不明之共有資源，如氣候、空氣)，並協助建立協商平台，在交易零成本之假設下，允許環境財產權可於市場自由交易，使資源利用發揮最大效益，亦可降低整體社會成本，此一理論可說是碳排放權交易之濫觴。其後，Dales 於 1968 年根據寇斯定理提出排放權交易市場之概念，透過市場機制之運作以達到降低污染之目標。爾後，污染源排放權交易制度被證明具有成本有效性 (Tietenberg, 1985)，亦即在污染源排放權交易過程中，污染源減量將由成本較高之排放源，轉移到成本較低之排放源，進而達到降低總減量成本之目的。美國為最早實施排放權交易制度之國家，其酸雨計劃 (Acid Rain Program, ARP) 及區域清潔空氣誘因市場 (Regional Clean Air Incentive Market, RECLAIM)，為許可交易制之成功案例；酸雨計劃在 1997 至 2007 年實施期間，其總防制成本節省約 200 億美元。南加州計劃相對於直接管制而言，平均每年可節省約 57.9 百萬美元，十年中合計約節省 5.79 億美元，⁵執行成效斐然。隨著京都議定書三大機制之開創，排放權交易制度逐漸受到世界各國之重視，亦成為處理環境污染問題的重要政策工具之一，其應用範圍非常廣範，除了空氣品質改善及 CO₂ 排放量管理外，更擴及土地使用管理、水資源管理、水資源保護、漁業資源管理等議題。

排放權交易制度主要架構有二，一為以排放總量管制作為環境管制之基礎，一為以排放權之交易，作為污染源間之交換機制，本處僅就京都議定書所提出之排放權交易制度做說明。

一、碳排放交易法制

在 UNFCCC 公約框架下，京都議定書可視為公約之補充條款，為因應不同交易機制、地區等因素，議定書中明定：第六條之共同減量，係指附件一國家之間透過合作機制，將減排單位 (Emission Reduction Unit, ERU) 轉讓，同時必須在轉讓方之分配數量 (Assigned Amount Unit, AAU) 配額上扣減相同之額度，為一種跨國期貨；第十二條之清潔發展機制，指附件一國家透過提供資金和技術與非附件一國家之合作機制，讓非附件一國家在永續發展前提下，進行減排並從中獲益，同時協助附件一國家

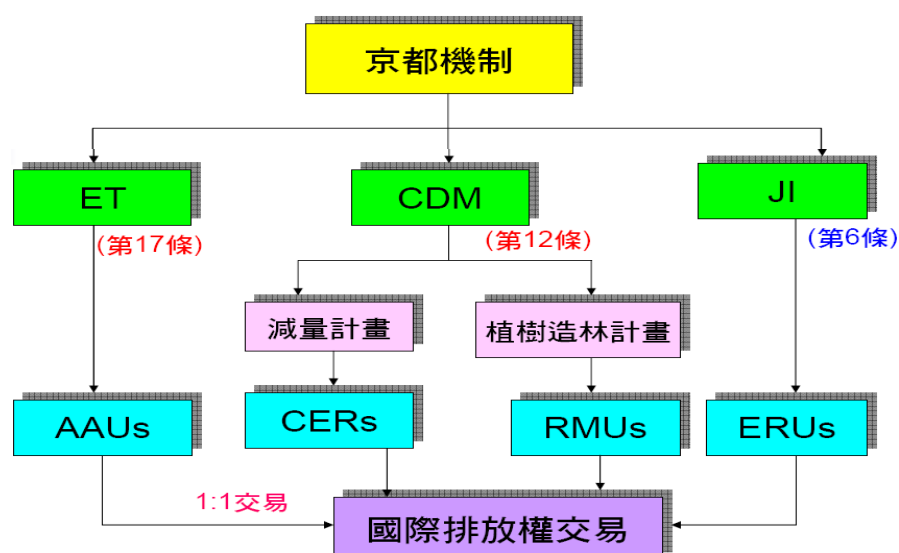
⁵ 李堅明，〈我國空氣污染物排放權交易制度規劃〉，載於台灣經濟綜合研究院，《我國空氣污染物排放權交易制度暨溫室氣體減量認證制度說明會論文集》，2000 年，頁 3-1。

透過該機制獲得排放減量權證 (Certified Emissions Reduction, CER)，亦為一種期貨，無論是國家、法人、企業，只要為附件一國家皆可在非附一國家進行投資資金和技術進行 CDM 項目；第十七條之排放交易，為附件一國家之間直接進行貿易的合作機制，即執行減排有超過額度之附件一國家，以貿易方式轉讓給另外一個未能完成減排義務之附件一國家，並同時從轉讓方之允許排放限額扣除相同之賣出額度，為現貨核配權，但僅限於歐盟國家之間的交易。

表 2-3 京都議定書三種機制之比較

項 目	共同減量 JI	清潔發展機制 CDM	排放交易 ET
規範條文	第六條	第十二條	第十七條
規範對象	附件一國家之間	附件一與非附件國家	針對歐盟國家
交易性質	跨國期貨	跨國期貨	現貨核配權
計量單位	排放減量單位 ERU	排放減量權證 CER	排放減量信用 ERC
目標	總量管制 成本有效性	調降總量目標 永續發展	總量管制 成本有效性
適用期間	至2008年止	至2012年止	自2006年起

資料來源：本研究整理

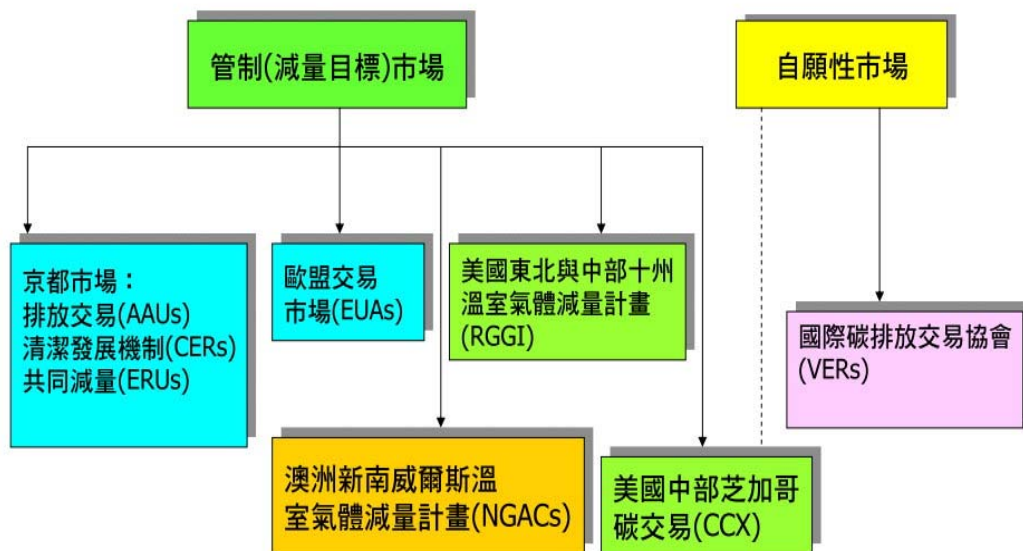


圖片來源：碳經濟 (李堅明，2009)

圖 2-5 國際排放交易機制

二、碳排放權交易市場

碳排放權交易市場係指碳信用之交易平台，依據聯合國之定義：每公噸排放至大氣之溫室氣體為一個碳信用單位，依京都議定書碳排放權交易機制之規定，碳排放權不能直接交易，必須透過世界銀行或碳基金公司等機制進行交易。目前國際碳排放權交易市場，以是否受京都議定書轄定區分為法治性市場和自願性市場兩類，如圖2-6所示。法治性市場係指京都議定書架構下之交易機制，為一強制減排配額市場，以歐盟排放交易體系 (EU ETS) 為代表，參與者對象可分為一般及京都議定書之締約國兩類，每一個加入國家必須提交其國家配置計畫，並說明其電力廠及工廠之溫室氣體排放量之上限，並經由歐盟批准方可加入。自願性市場係以美國民間公司所成立之芝加哥氣候交易所 (CCX) 為主，其會員主要來自於美國大型公司、非政府組織、公共事業、學校，目前有 200 多個參與者，交易範圍包括美國、加拿大、墨西哥及巴西等國。CCX 交易貨幣單位為減量額度 (Credit For Reductions)，會員間可自行進行買賣，其彈性機制範圍包括排放交易機制與排放補償機制。參與 CCX 之成員優先享有排放補償資格，稱為即早信用交易行動 (Exchange Early Action Credits)，各會員透過參與如掩埋場、森林碳儲存及林地生質能源等補償機制，可獲得信用額度。為全球第一家自願減排碳交易市場，亦是碳排放權期貨交易模式之開創者。



圖片來源：碳經濟 (李堅明，2009)

圖 2-6 全球溫室氣體(GHG)碳市場結構圖

三、全球碳排放權市場之現況

隨著京都議定書第一減量承諾期將至 (2008-2012年)，議定書附件 B 之國家負有減量承諾目標，若締約之國家無法達到 CO₂ 排放限額標準，則每多排一公噸，將被處以 100 歐元罰款。然，目前每噸 CO₂ 交易價格約在 20 歐元左右，因此締約國際除推動境內溫室氣體減量措施外，亦透過京都機制購買排放權，以抵減其減量目標，避免因未達減量目標而受罰。隨著排放權交易市場之成熟，交易金額也愈來愈龐大，並牽動了世界各國，尤其已開發國家因對於 CO₂ 排放量之管制，形成了主要交易之買方，而未開發及開發中國家則為主要交易之賣方。碳排放權交易使得許多新興國家獲取了極大之利益，亦有許多避險基金經理人把握此良機，成立綠色避險基金，鎖定碳排放權交易為主要獲利來源。

現階段全球有 20 多個碳交易平台，主要碳權交易標的有兩種型態：一是在排放交易制度下所創造出來之許可權，政府依據特定核配準則，核配給排污染源之排放權，如在京都機制之排放交易 (ET) 所創造出的排放減量信用 (ERC)，包括歐盟 (EU ETS)、澳洲新南威爾斯 (New South Wales)、芝加哥氣候交易所 (CCX)、及英國排放交易市場 (UK Emissions Trading Group, ETG) 等。二是在減量計畫基礎下之減量額度，如在清潔發展機制 (CDM) 下所創造出的排放減量權證 (CER)，及共同減量 (JI) 下所創造出的排放減量單位 (ERU)。上述兩種碳權商品，根據世界銀行 2009 年公佈資料顯示，2008 年市場規模分別為 92,859 百萬美元及 33,487 百萬美元，較 2005 年之 7,971 百萬美元及 2,894 百萬美元，各成長了 11 倍左右，就成交量而言，2008 年在市場中約有 48 億噸碳交易，較 2005 年 7 億噸增加了 7 倍左右，其中以歐盟排放交易體系之配額現貨及其衍生品交易規模最大，於 2008 年交易量已接近 920 億美元，佔全球交易總量 73%，EU ETS 交易額比較 2007 年提高 87%，全球自願碳市場交易額較 2007 年增長 50% 如表 2-4 所示。進一步分析兩種碳權商品之結構，可以發現排放交易市場之規模大於減量計畫基礎之規模，導因於排放交易市場係依據歷史排放量核配排放權其規模較大所致。

從碳排放權交易發展情況及需求來看，國際間透過市場機制解決環境污染問題已然形成，尤其排放交易 (ET) 可由民間企業進行排放量交易，不同於共同減量 (JI) 與清潔發展機制 (CDM) 必須符合聯合國及國家認證之規範。因排放交易類似商品期貨，未來各企業必將紛紛進入碳權交易體系買賣排放權利，其前景可觀不容小覷。

表 2-4 全球碳排放權市場交易現況

交易量單位：百萬公噸
 交易額單位：百萬美元

	2005 年		2006 年		2007 年		2008 年	
	交易量	交易額	交易量	交易額	交易量	交易額	交易量	交易額
初級市場 CDM	341	2,417	537	5,804	552	7,433	389	6,519
次級市場 CDM	10	221	25	445	240	5,451	1,072	26,277
共同減量 JI	11	68	16	141	41	499	20	294
自願減量市場	20	187	33	146	43	263	54	397
減量計畫交易合計	382	2,894	611	6,536	876	13,646	1,535	33,487
歐盟排放交易體系 EUR	321	7,908	1,104	24,436	2,060	49,065	3,093	91,910
澳洲新威爾斯減量 NSW	6	59	20	225	25	224	31	183
芝加哥氣候交易所 CCX	1	3	10	38	23	72	69	309
英國排放交易所 UK-ETS		1						
美國區域溫室氣體減量 RGGI							65	246
京都排放交易市場 AAUs							18	211
配額型交易合計	328	7,971	1,134	24,699	2,108	49,361	3,276	92,859
總計	710	10,865	1,745	31,235	2,984	63,007	4,811	126,346

資料來源：World Bank, State and Trends of the Carbon Market May (2007)(2008)(2009).

表 2-5 全球工業化國家 2010 年碳權交易潛在需求

	歐盟	日本	其他附件 B 國	合計
總需求量-百萬噸 (MtCO _{2e})	1,200	400	35	1,635
政府	450	100	20	570
私部門	750	300	15	1,065
可能額外需求	125	125		

資料來源：World Bank, State and Trends of the Carbon Market May (2009)pp55

第三章 研究方法與設計

本研究結合 35 年之時間序列與橫斷面 70 個國家之混合型資料，若以一般最小平方法 (OLS) 估計，容易產生估計結果之偏誤 (Greene, 2000)，因此擬採縱橫資料分析法 (panel data analysis) 之固定效果模型 (Fixed Effect, FE) 與隨機效果模型 (Random Effect, RE) 進行迴歸分析。為選取最佳模型配適，亦針對 Panel Data 模型可能出現之異質變異與殘差自我相關問題進行檢測，若檢定出現上述之偏誤，則以可行的一般化最小平方法 (Feasible Generalized Least Square, FGLS) 修正，即以 FGLS 為最終之估計模型。

第一節 縱橫資料分析法

縱橫資料迴歸分析法為結合時間序列 (Time Series) 與橫斷面 (Cross-Sectional) 資料之混合模型，兼具時間序列資料之動態性與橫斷面資料之異質性。使其估計結果較具效率性，亦可增加估計樣本之自由度，並降低遺漏變數可能帶來之模型設定問題。基本的 Panel Data 模型設定，為假設參數不會隨著時間與橫斷面之樣本單位不同而改變，且假設橫斷面樣本之殘差變異數為同質、縱斷面之樣本殘差項彼此不相關。方程式如下式 (3.1) 所示：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (3.1)$$

其中， i 為第 i 個國家， $i=1, 2, \dots, N$ ； t 表示研究樣本之期間， $t=1, 2, \dots, T$ ；

Y_{it} ：為第 i 個國家在第 t 年之應變數數值；

α ：為截距項，表示每個樣本之截距項皆相同；

β_k ：為第 k 個解釋變數之迴歸係數；

X_{kit} ：為第 i 個國家在第 t 期之第 k 個解釋變數數值；

ε_{it} ：為誤差項，且 $\varepsilon_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_\varepsilon^2)$

上述 Panel Data 基本模型只是將時間序列和橫斷面之數據併在一起，並以 OLS 來估計。一般而言以橫斷面資料進行分析時，常會遇到被解釋變數存在異質變異、時

間序列出現殘差項有自我相關之問題，導致以 OLS 估計產生無效率估計之結果。因此需做適當修正，修正方式以考量參數（截距）之不固定及各種假設不符所可能導致之估計偏誤，修正後之一般 Panel Data 歸模型如 (3.2) 所示：

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (3.2)$$

其中， i 為第 i 個國家， $i=1, 2, \dots, N$ ； t 表示研究樣本之期間， $t=1, 2, \dots, T$ ；

Y_{it} ：為第 i 國家在第 t 年之應變數數值；

α_i ：為第 i 國家之各別截距項，可表現出個別國家之差異性；

β_k ：為第 k 個解釋變數之迴歸係數；

X_{kit} ：為第 i 個國家在第 t 期之第 k 個解釋變數數值；

ε_{it} ：為誤差項，且 $\varepsilon_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_\varepsilon^2)$

由 (3-1) 及 (3-2) 式可知，其最大差異在於對截距項之假設不同。(3-2) 式模型允許樣本個體間擁有各別之截距項，可表現出個體間之差異性。

第二節 縱橫資料模型之選擇

縱橫資料迴歸分析法就其截距項 α_i 為固定或隨機數值，可分為固定效果模型與隨機效果模型二種模型，以下將分述模型之設定及說明選擇模型之原則。

一、固定效果模型

此模型之估計方式為利用加入虛擬變數 (Dummy Variable)，將資料轉換為離差形式，再以 OLS 進行估計，因此，又可稱為最小平方虛擬變數模型 (Least Square Dummy Variable, LSDV)，其特點為以截距項表示每個國家有不同之差異，且差異不會隨著時間改變而改變。假設母體內相似性低，故不以抽樣方式選取樣本，而直接以母體全部觀察所有國家之間之差異。其模型如下：

$$Y_{it} = \beta_{1i} + \beta_t + \sum_{k=2}^K \beta_k X_{kt} + \varepsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, T \quad (3.3)$$

其中， Y 為被解釋變數向量， i 為樣本觀察單位， t 是樣本觀察期； β_{1i} 為個別效果，表示在樣本觀察期間內，不同國家有不同之特性且其特性不會隨時間之變動而變動； k 為解釋變數各數； β_i 與 β_k 為待估計之向量； X_{it} 為相對應之解釋變數向量，但不包含截距項； ε_{it} 是相對應之隨機干擾項向量。在本研究中， Y_{it} 表示第 i 個國家在第 t 年的 CO₂ 排放量，透過 β_{1i} 來捕捉樣本觀察期間之內，各國 CO₂ 排放量之特性，且此特性將不隨時間改變。至於 β_i 可視為時間效果，藉此了解觀測樣本期間內各年的影響。

此外，OLS 與固定效果模型，主要依據 F-test 檢定截距項之間是否相等，以瞭解各國之間是否具有相異之特質。若不拒絕虛無假設，則採用傳統最小平方法；反之，則採用固定效果模型。若假設檢定結果不拒絕虛無假設，表示各國 CO₂ 排放量之特性無不同之處，換言之，僅需估計一個截距項，其縱橫資料之特性將因此喪失，成為一般之共同迴歸模型 (Pooled Regression Model)。假設檢定與檢定統計量如下：

$$H_0 = \beta_{11} = \beta_{12} = \dots = \beta_{1N} \quad \text{無個別效果存在} \quad (3.4)$$

$$H_1 = H_0 \text{ 為偽} \quad \text{存在個別效果}$$

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_U)/(N-1)}{SSE_U/(NT - N - K + 1)} \quad (3.5)$$

其中，

SSE_R 為受限制模型之殘差平方和，即共同迴歸模型之殘差平方和；

SSE_U 為不受限制模型之殘差平方和，即直接估計第 (3.5) 式得到之殘差平方和；

$(N-1)$ 為虛無假設中限制式之個數， $(NT-N-K+1)$ 為不受限制模型之自由度；

N 為橫斷面國家 74 個數， NT 表示考慮橫斷面國家數與時間序列年份後之樣本個數。

二、隨機效果模型

在隨機效果模型中，有兩個誤差項，即 u_i 與 ε_{it} 且相互獨立，因此，又稱誤差成份模型 (Error Component Model)，特點為著重於母體整體之關係，而非個別國家間之差異，假設各國間存在異質性，此異質性為隨機產生，與解釋變數無關，迴歸式中未包括之解釋變數皆可歸納在誤差成分中。且假設母體內相似性高，故不採用母體

全部，而以隨機抽樣方式選取樣本。假設檢定之結果若不拒絕虛無假設，則表示各國 CO₂ 排放量之特性，為一個不隨時間改變之隨機變數，換言之，各國之間只存在隨機的抽樣誤差。其模型如下：

$$Y_{it} = \sum_{k=1}^k \beta_k X_{kit} + u_{it} + \varepsilon_{it} \quad i=1, \dots, N \quad t=1, \dots, T \quad (3.6)$$

$$u_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_u^2) \quad \varepsilon_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

其中， u_{it} 為隨機變數且不隨著時間而改變，此外， u_{it} 與各解釋變數亦不相關，其他變數請參閱固定效果模型部分。在隨機效果模型中，有兩個誤差項，即 u_{it} 與 ε_{it} 且相互獨立。可利用 LM-test 檢定隨機截距項是否相關，以瞭解橫斷面國家間是否具有不同之特質，其假設檢定與統計量如下：

$$H_0 = \sigma_\varepsilon^2 = 0 \quad \text{無隨機個別效果存在} \quad (3.7)$$

$$H_1 = \sigma_\varepsilon^2 \neq 0 \quad \text{存在隨機個別效果}$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T e_{it} \right)^2$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T e_{it}^2$$

$$\lambda = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{S_1}{S_2} - 1 \right]^2 \quad (3.8)$$

其中，N 為總樣本數；T 為總樣本期間；

e_i 為採用最小平方法所得之殘差值，若不拒絕虛無假設則採用最小平方法。

三、固定效果與隨機效果模型之選擇—Hausman 檢定

上述兩模型各具優缺點，固定效果模型較為簡便，但因自由度大幅減少，使估計係數之共變異數值變大，然隨機效果模型無此問題。隨機效果模型須假設 μ_i 之分配型式，亦需假設 μ_i 與隨機干擾項獨立，並與其它解釋變數不相關，而固定效果模型

不需做此假設。故以 Hausman (1978) 提出模型設定檢定 (specification error test) 判別是否有模型設定錯誤情形，以選擇適合模型。令虛無假設為「與解釋變數不相關」，若虛無假設為真，表示無模型設定錯誤情形，應選用隨機效果模型；若對立假設為真，則表示模型出現設定錯誤，應採用固定效果模型進行實證分析。Hausman 檢定統計量為：

$$m = (\hat{\beta} - \hat{b}_s)' [\text{cov}(\hat{\beta}) - \text{cov}(\hat{b})]^{-1} (\hat{\beta} - \hat{b}_s) \quad (3.9)$$

其中，

$\hat{\beta}$ 為固定效果模型之係數估計值向量；

\hat{b}_s 為隨機效果模型不含截距項之係數估計值向量；

$\text{cov}(\hat{\beta}) - \text{cov}(\hat{b})$ 代表兩模型斜率項係數估計式共變異矩陣之差；

統計量 m 之漸近分配為自由度為 $(k-1)$ 之卡方分配， k 代表自變數之個數。

第三節 異質變異與自我相關

Panel Data 為結合時間序列與橫斷面資料型態之混合模型，一般迴歸模型在估計時，通常假設迴歸殘差之變異數為一個固定不變的常數，但眾多實證研究發現，以橫斷面資料進行分析時可能會遇到被解釋變數存在異質變異之問題，而時間序列資料具有條件變異數不齊一之自我相關現象，即當期之變動會受到前一期之影響，使得先前假設不具有效性，導致估計上之偏誤。因此，為選取最佳之模型配適，本研究亦對模型可能產異質變異與自我相關之問題進行檢測。其估計式如下：

一、異質變異檢測

異質變異以 Wald test 檢測，並根據 Greene (2000) 所建議之方法如下：

$$H_0 = \sigma_i^2 = \sigma \quad i = 1, 2, \dots, N \quad \text{同異質變異} \quad (3.10)$$

$$H_1 = \sigma_i^2 \neq \sigma \quad \text{異質變異}$$

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{(\hat{\sigma}_i^2 - \hat{\sigma}^2)^2}{V_i} \quad (3.11)$$

若不拒絕 H_0 表示不存在異質變異問題，反之則為存在異質變異之問題。

二、自我相關檢測

自我相關部分以序列自我相關檢定法 (Wooldridge, 2002) 進行檢測。其不同時間殘差項與個別國家殘差項關係估計式如下：

$$\begin{aligned}
 E(\mu_{it}\mu_{is}) &= E[(\mu_{it} - \bar{\mu}_i)(\mu_{is} - \bar{\mu}_i)] & (3.12) \\
 &= E(\mu_{it}\mu_{is}) - E(\mu_{it} - \bar{\mu}_i) - E(\mu_{is} - \bar{\mu}_i) + E(\bar{\mu}_i^2) \\
 &= 0 - \sigma_{\mu}^2 / T - \sigma_{\mu}^2 / \sigma_{\mu}^2 / T = \sigma_{\mu}^2 / T < 0
 \end{aligned}$$

若考量模型存在 AR(1)，其假設檢定及殘差估計式如下：

$$H_0: \delta_1 = -1 / (T-1) \text{ 無序列相關} \quad (3.13)$$

$$H_1: \delta_1 \neq -1 / (T-1) \text{ 一階自我相關}$$

$$\hat{\mu}_{is} = \delta_0 + \delta_1 \hat{\mu}_{is-1} + \eta_{is} \quad (3.14)$$

其中， δ_0 為決定殘差之重要參數，若不拒絕 H_0 表示模型無序列相關問題，反之，則為存在一階自我相關問題。

第四節 實證模型

文獻對 EKC 假說之檢定，關於線性參數之設定，以二次式和三次式最為普遍，但沒有一定之定論。本文同時對二次式和三次式進行估計。方程式如式(3-15)與式(3-16)所示：

$$\begin{aligned}
 \ln CO_{2it} &= \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{it} + \alpha_2 \ln GDP_{it}^2 + \beta_1 \ln X1_{it} + \beta_2 \ln X2_{it} + & (3-15) \\
 &\quad \beta_3 \ln X3_{it} + \beta_4 \ln X4_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned}
 \ln CO_{2it} &= \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_{it} + \alpha_2 \ln GDP_{it}^2 + \alpha_3 \ln GDP_{it}^3 + \beta_1 \ln X1_{it} + & (3-16) \\
 &\quad \beta_2 \ln X2_{it} + \beta_3 \ln X3_{it} + \beta_4 \ln X4_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

其中， CO_{2i} 為第 i 國人均 CO_2 排放量 (公噸/人)； t 表示第 t 年， $t=1, 2, \dots, T$ ； GDP_i^j 為第 i 國人均 GDP， $j=1, 2, 3$ 分別代表線性設定、二次項、三次項之設定； X_1 為人口密度； X_2 為化石能源消費量； X_3 為工業佔 GDP 之比例； X_4 為貿易佔 GDP 比例； α 與 β 則分別表示解釋變數之係數值； ε_i 則為誤差項。式 (3.15) 與式(3.16) 是最典型之 EKC 模型設定。基於上述模型之設定，我們預期估計係數 α_1 、 α_2 、 α_3 之可能結果如下：

1. 若 $\alpha_1 > 0$ 且 $\alpha_2 = \alpha_3 = 0$ 成立，則 EKC 為單調遞增之線性關係。
2. 若 $\alpha_1 < 0$ 且 $\alpha_2 = \alpha_3 = 0$ 成立，則 EKC 為單調遞減之線性關係。
3. 若 $\alpha_1 > 0$ 、 $\alpha_2 < 0$ 且 $\alpha_3 = 0$ 成立，則 EKC 為倒 U 型之二次方曲線。
4. 若 $\alpha_1 < 0$ 、 $\alpha_2 > 0$ 且 $\alpha_3 = 0$ 成立，則 EKC 為 U 型之二次方曲線。
5. 若 $\alpha_1 > 0$ 、 $\alpha_2 < 0$ 且 $\alpha_3 > 0$ 成立，則 EKC 為 N 型之三次方曲線。
6. 若 $\alpha_1 < 0$ 、 $\alpha_2 > 0$ 且 $\alpha_3 < 0$ 成立，則 EKC 為反 N 型之三次方曲線。

第四章 實證結果與分析

本章分為六節說明，第一節資料源及變數選擇；第二節樣本資料敘述統計分析，檢視 1973-2007 年各自變數與 CO₂ 排放間之趨勢，以初步瞭解各國 CO₂ 排放現況與各自變數之關係；第三節為相關係數檢定，避免自變數之間存在高度相關之共線性問題；第四節為縱橫單根檢定之實證分析，確認樣本資料為定態型態；第五節為一般迴歸分析法；第六節為縱橫資料實證結果分析，為避免 Panel Data 模型之殘差可能發生之異質變異與自我相關問題，亦針對異質變異及自我相關部分進行檢定，由檢定結果顯示存在自我相關 AR(1) 及異質變異之現象。基此，本研究以可行的一般化最小平方法 (FGLS) 為最終估計模型。

第一節 資料來源及變數選擇

本研究選用年度以目前可取得之最新年度 2007 年，往前選取至 1973 年，共計 35 年。資料變數為各國每人每年 GDP 變數、每人每年 CO₂ 排放量、人口密集度、工業佔 GDP 之比例、化石能源消費量、貿易佔 GDP 之比例等六個變數，資料來源取自世界銀行 (The World Bank) 網站中之世界發展指標 (world development indicators, WDI) 資料庫。⁶本文依資料之完整性選取 WDI 資料庫中之 70 個國家，並以碳排放交易及區域特性為分類準則，將樣本國家區分為歐盟強制性碳交易市場、國際自願性碳交易市場、東南亞地區、美洲地區、中東及非洲地區等五個區域。

首先，本文以德國除外之最早加入歐盟的 14 個國家及挪威等 15 國為歐盟強制性碳交易之觀察對象，⁷主要因素為東西德於 1990 年統一，蘇聯於 1991 年瓦解成

⁶ 使用資料來源：World Development Indicators Online(WDI)資料庫
<http://data.worldbank.org/indicator/all> 下載日期 99/10/12 日

⁷ 歐盟依據京都議定書第 4 條之規定，由當時全體 15 個締約國 (奧地利、比利時、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、愛爾蘭、義大利、盧森堡、荷蘭、葡萄牙、西班牙、瑞典、英國) 共同承擔京都議定書的減量承諾，經協商後達成減量分擔協議 (Burden Sharing Agreement of the EU)，重新分配締約國之減量目標。並於 2002 年 5 月 31 日作成 Council Decision 2002/358/EC，正式批准京都議定書，並再次確認各締約國之減量分擔協議 (EU, 2002)。其後 2003 年 10 月 13 日歐洲議會與歐盟部長理事會共同發布 Directive 2003/87/EC，建立歐盟排放交易制度基本規範。由 Directive 2003/87/EC 條文可知，歐盟實施排放交易制度分為二階段，第一階段於 2005 年 1 月 1 日至 2007 年 12 月 31 日為期三年，第二階段為 2008 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日為期五年，與京都議定書減量規劃期全部重疊。由於京都議定書附件 B 規定需負擔減量義務之 38 個國家中，歐盟佔了有 25 個國家，由此可預見，歐盟實施溫室氣體排放減量政策之成敗，為京都議定書實施減量措施是否成功的關鍵，亦影響後京都議定書時期之減量義務的協商。

立陶宛、愛沙尼亞、拉脫維亞…等 15 國，捷克斯洛伐克聯邦共和國於 1993 年分裂成捷克與斯洛伐克兩國，這些國家於獨立後才有個別之資料。唯，挪威雖然不屬於歐盟會員國，但其歐洲經濟區協定 (EEA) 亦享有與歐盟之會員國、企業及國民同等之待遇，且其綠色稅制改革行之有年，極具參考價值，故列入觀察對象中。其次，國際碳交易市場在京都議定書架構下興起，美國芝加哥氣候交易所 (CCX) 於 2003 年成立，交易範圍包括美國、加拿大、墨西哥及巴西；澳洲新南威爾斯溫室氣體減排貿易於 2003 年 1 月啟動；日本於 2005 年發起自願性排放交易系統；紐西蘭於 2007 年 9 月成立包含六種溫室氣體之強制性總量管制與交易制度；其他各國亦陸續提出碳排放交易計劃，本文選取資料年度為 1973 至 2007 年，故將 2007 年前成立之自願性碳交易的國家列為觀察對象。而亞洲部分則因西亞回教國家與東亞及南亞國家往來較不密切，又中亞五國哈薩克、烏茲別克、吉爾吉斯、塔吉克、土庫曼於 1991 年蘇聯瓦解後才獨立，故亞洲部分就歷史及取得資料之完整性，僅列出東亞及南亞 14 個國家加以分析，其中日本因實施自願性碳排放權之交易，亦歸類於自願性碳交易。對於美洲地區則因各國之間貿易往來密切，故以資料之完整性選取 17 個國家為觀察對象，唯北美地區如美國、加拿大及墨西哥因實施自願性碳排放權之交易，亦將之歸類於自願性碳交易。最後，中東及非洲地區因戰亂頻繁及經濟因素，資料蒐集不易僅選取 22 個資料較完整之國家為觀察代表。以上五個區域之國家名單詳列於表 4-1。

選用年度以目前可取得之年度 2007 年，往前選取至 1973 年，共計 35 年。主要原因為多數新興國家皆於 1970 年以前才宣告獨立，而第一屆聯合國人類環境會議於 1972 年 6 月在瑞典斯德哥爾摩召開，提出著名之人類環境宣言，是環境保護事業正式引起世界各國政府之重視，故以 1973 年作為起始。

表 4-1 樣本資料分區表

分 區	國 家 名 稱
歐盟強制性碳交易市場-15 個國家	奧地利、丹麥、芬蘭、法國、希臘、義大利、荷蘭、葡萄牙、愛爾蘭、西班牙、瑞典、英國、比利時、盧森堡、挪威
國際自願性碳交易市場-7 個國家	澳洲、日本、美國、加拿大、巴西、墨西哥、紐西蘭
東南亞地區 14 個國家	日本、中國、香港、印度、印尼、南韓、馬來西亞、尼泊爾、巴基斯坦、菲律賓、新加坡、斯里蘭卡、泰國、孟加拉國

表 4-1 樣本資料分區表(續)

美洲地區 17 個國家	委內瑞拉、阿根廷、玻利維亞、智利、哥倫比亞、哥斯大黎加、多明尼加共和國、瓜地馬拉、宏都拉斯、祕魯、巴拿馬、巴拉圭、烏拉圭、美國、加拿大、巴西、墨西哥
中東及非洲地區 22 個國家	剛果共和國、加彭、尚比亞、迦納、貝南、肯亞、南非、阿爾及利亞、波札那、喀麥隆、剛果、象牙海岸、埃及、蘇丹、多哥、突尼西亞、辛巴威、伊朗、約旦、阿曼、沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國

資料來源：本研究自行整理

最後詳述各變數如下，並將變數資料整理如表 4-2 所示。

一、經濟發展變數

過去 EKC 文獻中常以國民所得 (NI)、國內生產毛額 (GDP) 及國民生產毛額 (GNP) 為經濟發展指標。根據吳珮瑛 (2003) 所述：在探討經濟發展 (成長) 與其相關議題時，大多認為「經濟成長」意指一國經濟體總產出之增加，具體之測定指標則是以固定價格計算之國民生產毛額、國內生產毛額與國民所得。至於「經濟發展」則指每人產出之增加，具體之測定指標有平均每人 GNP、每人 GDP 和每人國民所得。因此，如果一國之人口成長超過其總產出之增加率，則總產出之增加完全被扶養增加之人口所吸收，此時該經濟體就會出現有經濟成長卻沒有經濟發展之情況。為排除有成長卻沒有發展之狀況，以真實反應一國之經濟發展狀況，在實證上應剔除物價水準變動及人口成長之影響。故本研究採用平均每人國內生產毛額 (Per Capita GDP) 做為衡量經濟發展之指標。

二、環境污染變數

根據 EKC 相關文獻中，常見之環境壓力變數有懸浮微粒物質、二氧化碳、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、無安全飲用水人口等，其中以 CO₂ 排放對溫室應之影響最大。國際間估算溫室氣體排放，以政府間氣候變化專家委員會推出之 IPCC 準則為參考依據⁸。IPCC 於 1996 年溫室氣體清單指南中公佈 CO₂ 排放計算方法有兩種，

⁸ IPCC 準則是 UNFCCC 於 1995 年 3 月在柏林召開第一次締約國大會中之決議，作為成員計算及報告該國溫室氣體統計時之共同依循規範，並於 1996 年公布修訂方法，修訂原有評估方法外，並規範對各項評估數據準確度之定性描述，以掌握數據之不確定性。

一為基礎方法 (Reference Approach)、一為部門方法 (By Main Source Categories)。⁹本文以 WDI 資料庫中之人均 CO₂ 排放量來進行分析，其 CO₂ 排放資料取自於二氧化碳資訊分析中心 (CDAIA)，CDAIA 之 CO₂ 排放資料係依據 IPCC 基礎方法，推估各國 CO₂ 排放量而得，為現今可得計算 CO₂ 排放資料中，方法最一致，且所包含之國家及年度最完整之資料庫；但是，資料庫未計入砍伐森林及土地使用所產生之 CO₂ 排放，然此二者所產生之 CO₂ 排放量，約為每年所有化石燃料與水泥生產所製造出之排放量的 17-23% (World Resources Institute, 1996)。此外，此資料庫亦不計入燃燒木材對 CO₂ 排放之影響，可能會造成低估低度開發國家之 CO₂ 排放量的現象。

三、其他變數

除上述形成 EKC 的內在因素外，尚有外部影響因素，如人口、產業結構等都會影響環境品質偏離 EKC，產生局部性不規律波動，當波動達到一定程度後，必然會影響 EKC。因此，本文加入了四個變數，第一，人口密集度：常被視為影響環境污染之重要因素，因為經濟活動頻繁地區，其所使用之各種資源消耗，相對於人口稀少之地區來得高 (Scruggs, 1998)，預期估計係數符號為正，即人口密度越大將使 CO₂ 排放越高，對環境造成生負面之影響。第二，化石能源消費量：為加總能源消費中來自於煤及其產品、石油產品、自產天然氣、進口液化天然氣…等數量而得，是工業生產過程必須之動力來源，亦為 CO₂ 排放之主要來源，預期估計係數符號為正。第三，工業佔 GDP 之比例：能源之使用受到產業結構很大的影響，而工業佔 GDP 之比例，可以反應出產業移轉對 CO₂ 排放之影響 (Grossman & Krueger, 1995)，故本研究以 WDI 資料庫之工業部門創造的附加價值佔 GDP 比例為觀察指標，藉以觀察各區域之產業結構，預期估計係數符號為正。第四，貿易佔 GDP 之比例：貿易自由化對環境品質可能帶來正面之影響，即透過國際間之污染防治途徑，更專業於生產更潔淨之產品，進而改善環境品質之惡化；亦可能帶來負面之影響，例如高度經濟發展之國家，其環境管制標準較開發中國家嚴格，因此，藉由進口高污染產品來改善國內之環境品質，使得污染源由進口國移轉至出口國，導致開發中國家成了「污染庇護所」(Dinda, 2004)。

⁹ 基礎方法是使用一國之最終能源使用所消耗的化石能源數量，來計算能源使用所產生之 CO₂ 排放量，部門方法是藉由一國各部門之詳細能源使用資料，按部門分類分別計算 CO₂ 排放量。

表 4-2 各項相關變數說明

變數名稱	定 義	單 位	預期符號
人均 CO ₂ 排放量	二氧化碳總排放量／總人口數	公噸/人	
人均 GDP	國內生產毛額總值／總人口數	美元/人	+ 或 -
人口密度	總人口數／總土地面積	人/平方公里	+
化石能源消費量	化石燃料消耗量／總能源 化石燃料包括煤，石油，石油 和天然氣產品	百分比	+
工業佔 GDP 比例	工業附加價值／GDP	百分比	+
貿易總額佔 GDP 比例	各國貿易總額／GDP	百分比	+

資料來源：本研究整理

第二節 樣本資料統計分析

表 4-3 為本研究 1973 至 2007 年樣本資料之初步敘述統計分析，藉由敘述統計分析了解樣本之屬性，其相關分析詳述如下：

五個區域均中之人均 CO₂ 排放量、人均 GDP、人口密度及貿易佔 GDP 比例的平均成長值均為正向成長趨勢。其中人均 CO₂ 排放量以東南亞地區 3.41 為最高，歐盟強制性碳交易市場之國家 0.188 為相對最低；人均 GDP 以歐盟碳交易市場之國家 7.74 成長最快速，中東及非洲地區 4.95 成長相對緩慢，一般而言人均 GDP 愈高，其人均 CO₂ 排放量也愈高，然，歐盟強碳交易市場之人均 DGP 為五個區域中成長最高，但其人均 CO₂ 排放量之成長為最低，表示歐盟相較於其他區域之 CO₂ 排放量已有減排成效。人口密度則以中東及非洲地區 3.07 成長最迅速，歐盟碳交易市場 0.41 成長相對緩慢，此結果符合文獻上所提及之人口密度愈高，其 CO₂ 排放量愈高的特性。貿易佔 GDP 比例以東南亞地區 2.76 為最高，中東及非洲地區 0.94 為相對最低。而碳交易市場之化石能源消費量與工業佔 GDP 比例之平均成長值均為負向減緩趨勢，其中以歐盟碳交易市場之國家 -1.06 的產業結構轉變最明顯、國際自願碳交易市場之國家 -0.69 次之，由此結果顯示，產業結構的適當轉移，可舒緩化石能源消費量之增加，將有助於污染排放的減量。

表 4-3 變數統計量表

A：人均 CO₂ 排放量						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	0.1875	6.4215	-21.7947	22.5019	
國際自願性碳交易市場	245	0.7973	4.3812	-12.3835	17.3814	
東南亞地區	490	3.4070	9.0273	-38.7228	43.1480	
美洲地區	595	1.0864	8.3623	-34.0241	38.6476	
中東及非洲地區	770	1.0663	20.8236	-151.0123	133.0576	
B：人均 GDP						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	7.7393	10.8440	-28.4727	37.2623	
國際自願性碳交易市場	245	6.6258	11.6853	-40.3626	38.7085	
東南亞地區	490	7.3146	12.1293	-82.9401	43.7912	
美洲地區	595	5.8615	15.5031	-97.7776	59.7896	
中東及非洲地區	770	4.9464	17.6238	-108.4649	131.6938	
C：人口密度						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	0.4086	2.9092	-33.8142	20.8604	
國際自願性碳交易市場	245	1.2903	0.6322	-0.3852	3.1776	
東南亞地區	490	1.7991	0.8388	-1.7671	5.4654	
美洲地區	595	1.9037	0.6936	-0.1508	3.5225	
中東及非洲地區	770	3.0714	1.6911	-0.1431	17.7380	
D：化石能源消費量						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	-0.5206	2.5105	-17.9648	11.2874	
國際自願性碳交易市場	245	-0.0684	1.7377	-5.2856	8.2202	
東南亞地區	490	1.2640	5.6871	-30.8121	40.9422	
美洲地區	595	0.3627	4.6324	-24.8308	26.7997	
中東及非洲地區	762	-0.0056	10.7225	-65.1017	125.8617	
E：工業佔 GDP 比例						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	-1.0578	4.3454	-26.1693	24.1847	
國際自願性碳交易市場	239	-0.6907	4.2128	-37.3758	21.5934	
東南亞地區	473	0.3680	4.1132	-19.4896	25.3178	
美洲地區	568	0.0567	6.9620	-45.0962	37.5520	
中東及非洲地區	764	0.4683	11.6109	-97.8303	112.9475	
F：貿易佔 GDP 比例						
區 域	觀察值	平均值	標準差	最小值	最大值	
歐盟強制性碳交易市場	525	1.6190	6.2227	-26.1368	22.7087	
國際自願性碳交易市場	245	1.7992	8.4331	-30.3507	41.3726	
東南亞地區	461	2.7556	9.9092	-42.4042	71.0772	
美洲地區	587	1.9176	11.8486	-51.9915	62.4149	
中東及非洲地區	762	0.9338	14.9656	-84.0999	105.0370	

第三節 相關係數檢定

為避免自變數間存在高度相關問題，而影響估計之有效性，本研究使用皮爾森相關性檢定 (Pearson Correlation)，其檢定值將介於 -1 到 +1 之間，當值為 0.0 時表示兩變數之間完全沒有相關性，當值為 ± 1.00 表示兩變數之間為完全正相關或完全負相關，一般以 ± 0.8 為臨界值，若兩變數之間的相關係數大於或小於 ± 0.8 ，代表兩變數之間存在高度相關問題，將導致模型估計之偏誤；由表 4-4 顯示，各變數間之相關係數皆小於 0.57，表示相關性不高。另外透過 VIF (Variance Inflation Factors) 檢定進行共線性檢定，據 Greene (2000) 指出 VIF 等同於 $1/(1-R^2)$ ，其中， R^2 表示任一自變數對其他自變數間之相關係數；當 VIF 值大於 10 為共線性顯著。本研究結果顯示，歐盟強制性碳交易市場值為 1.1、國際自願性碳交易市場值為 1.16、東南亞地區值為 1.09 美洲地區其值為 1.13、中東及非洲地區其值為 1.14，代表變數間沒有共線性問題存在，符合模型設定之原則。

表 4-4 皮爾森相關性檢定-相關係數矩陣表

A: 歐盟強制性碳交易市場

	人均 CO ₂ 排放量	人均 GDP	人口密度	化石能源消費量	工業佔 GDP 比例	貿易佔 GDP 比例
人均 CO ₂ 排放量	1					
人均 GDP	0.1588***	1				
人口密度	-0.0033	-0.2281***	1			
化石能源消費量	0.5014***	0.1111**	-0.0164	1		
工業佔 GDP 比例	0.1681***	-0.1173***	-0.0229	0.059	1	
貿易佔 GDP 比例	0.0392	-0.3181***	0.1484***	-0.0072	0.2309***	1

B: 國際自願性碳交易市場

	人均 CO ₂ 排放量	人均 GDP	人口密度	化石能源消費量	工業佔 GDP 比例	貿易佔 GDP 比例
人均 CO ₂ 排放量	1					
人均 GDP	0.2363***	1				
人口密度	0.1568**	0.0488	1			
化石能源消費量	0.5602***	0.1308**	0.1451**	1		
工業佔 GDP 比例	0.0154	-0.0898	0.0600	-0.0426	1	
貿易佔 GDP 比例	0.0016	-0.4782***	0.0436	-0.0886	0.2237***	1

表 4-4 皮爾森相關性檢定-相關係數矩陣表(續)

C: 東南亞地區 Panel

	人均 CO ₂ 排放量	人均 GDP	人口 密度	化石能源 消費量	工業佔 GDP 比例	貿易佔 GDP 比例
人均 CO ₂ 排放量	1					
人均 GDP	0.1286***	1				
人口密度	0.0421	-0.0202	1			
化石能源消費量	0.4429***	-0.0243	0.0911**	1		
工業佔 GDP 比例	0.1866***	0.0890*	0.1389***	0.1048**	1	
貿易佔 GDP 比例	0.0373	-0.3099***	-0.0208	0.0731	0.2603***	1

D: 美洲地區

	人均 CO ₂ 排放量	人均 GDP	人口 密度	化石能源 消費量	工業佔 GDP 比例	貿易佔 GDP 比例
人均 CO ₂ 排放量	1					
人均 GDP	0.1961***	1				
人口密度	0.0552	-0.0010	1			
化石能源消費量	0.4648***	0.0795*	0.0833**	1		
工業佔 GDP 比例	0.0371	0.0362	0.0483	-0.0278	1	
貿易佔 GDP 比例	0.0017	-0.4029***	-0.0247	0.0617	0.2255***	1

E: 中東、非洲地區

	人均 CO ₂ 排放量	人均 GDP	人口 密度	化石能源 消費量	工業佔 GDP 比例	貿易佔 GDP 比例
人均 CO ₂ 排放量	1					
人均 GDP	0.1032***	1				
人口密度	-0.0358	0.1313***	1			
化石能源消費量	0.2232***	0.0752**	-0.0037	1		
工業佔 GDP 比例	0.1071***	0.1326***	-0.0427	0.0511	1	
貿易佔 GDP 比例	0.0334	-0.2982***	-0.0515	-0.0366	0.3189***	1

第四節 縱橫單根檢定之實證分析

本文為結合時間序列與橫斷面國家之縱橫資料型態，對於非定態性之時間序列資料，可能產生假性迴歸問題，必須先確認樣本資料為定態型態，若為非定態性序列，須以差分轉換成定態型態，方可進行後續之實證結果分析。本研究將 70 個國家分為五個區域，分別為歐盟強制性碳交易市場、國際自願性碳交易市場、東南亞國家、美洲國家、非洲及中東國家，再針對每個區域置入人均 GDP、CO₂ 排放量、人口密度、化石能源消費量、工業佔國內生產值之百分比、貿易佔國內生產總值之百分比等變數，並同時採用 LLC 檢定 (Levin, Lin and Chu 2002)、IPS 檢定 (Im, Pesaran and Shin 2003)、ADF-Fisher 檢定 (Dickey and Fuller 1979) 檢定各變數是否為定態型態。

LLC 檢定為解決殘差項具異質性序列相關之問題，允許截距項、時間趨勢、殘差項及高階自我相關單獨個別化，但各序列之自我迴歸系數值必須一致，即隨著每個國家之異而異，但限制每個國家之時間序列長度必需相同，此為 LLC 檢定缺點之一；其虛無假設為所有序列皆具有單根，若無法拒絕該虛無假設，則此序列為 I(1) 之時間序列。IPS 檢定為結合橫斷面個體各自之 ADF 檢定統計量求其群體平均，放寬各序列之自我迴歸系數值必須一致之限制，以檢定資料是否為定態型態，故 IPS 檢定在解決殘差項異質性序列之相關問題時，比 LLC 檢定可獲得更精準之檢定結果。此為 IPS 檢定與 LLC 檢定最大不同處。ADF-Fisher 檢定其檢定式之殘差必須為無自我相關和具同質變異；若無法滿足上述條件時，可利用 PP-Fisher Chi-square 檢定輔助。由表4-5 至表4-9 檢定結果顯示，經過取一階差分處理方式後，各變數均在 1% 之顯著水準下呈現顯著，拒絕虛無假設，代表所有序列皆沒有單根，均為定態的序列，因此，得以進行後續的實證分析。

表 4-5 Panel 單根檢檢定-歐盟強制性碳交易市場

歐盟強制性碳交易市場（不含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-2.63012***	-0.49558	30.8171
人均 GDP	-1.04547	2.99512	7.91135
人口密度	-1.36686*	7.37855	23.0559
化石能源消費量	-1.33900*	0.13602	30.4830
工業佔 GDP 比例	-1.91757**	0.05564	35.0875
貿易佔 GDP 比例	2.39341	3.18638	17.3285
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-8.26346***	-11.6481***	185.185***
人均 GDP	-11.2977***	-9.46322***	144.847***
人口密度	1.0989	-1.42799*	51.8894***
化石能源消費量	-3.89322***	-10.5163***	168.923***
工業佔 GDP 比例	-9.43095***	-11.5339***	183.601***
貿易佔 GDP 比例	-8.55125***	12.1642***	194.391***

歐盟強制性碳交易市場（含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-0.18390	-0.59463	32.7501
人均 GDP	-2.02259**	-3.64667***	57.2424***
人口密度	-1.51195*	-0.07567	50.7340**
化石能源消費量	1.23505	1.44489	23.8408
工業佔 GDP 比例	-1.46036*	-1.27867	37.6222
貿易佔 GDP 比例	-0.06167	-0.55354	30.8444
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-6.35875***	-9.37751***	138.240***
人均 GDP	-9.93672***	-6.74888***	96.6977***
人口密度	0.69209	-1.32317*	48.8463**
化石能源消費量	3.32516***	-8.80614***	134.433***
工業佔 GDP 比例	-7.88814***	-9.97293***	146.305***
貿易佔 GDP 比例	-6.90742***	-10.0294***	147.168***

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

表 4-6 Panel 單根檢檢定國-際自願性碳交易市場

國際自願性碳交易市場（不含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-1.54397*	-0.93127	18.0080
人均 GDP	-3.74360***	0.73797	15.3648
人口密度	-3.09183***	-1.71464*	41.2759***
化石能源消費量	-3.63883***	-2.47343***	27.6933**
工業佔 GDP 比例	0.43389	2.12253	5.01209
貿易佔 GDP 比例	-0.69689	0.34525	11.6160
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-7.25130***	-7.17025***	78.1771***
人均 GDP	-5.37403***	-5.49178***	59.1447***
人口密度	-0.92886	-4.58385***	56.4731***
化石能源消費量	-5.16939***	-7.31342***	79.3212***
工業佔 GDP 比例	-7.45565***	-7.4749***	80.2357***
貿易佔 GDP 比例	-6.86033***	-7.53620***	80.8912***

國際自願性碳交易市場（含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-0.71808	-0.36145	12.2673
人均 GDP	-1.91777**	-1.50590*	23.1359*
人口密度	-3.24249***	-2.11210**	28.84000**
化石能源消費量	-0.43327	0.92036	11.6192
工業佔 GDP 比例	0.28709	0.58989	10.0671
貿易佔 GDP 比例	-0.34015	-0.91724	18.8456
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-6.46669***	-5.68447***	58.4704***
人均 GDP	-5.91376***	-4.60982***	46.6134***
人口密度	-5.89721***	-7.04200***	77.9915***
化石能源消費量	-4.35246***	-7.00846***	72.0199***
工業佔 GDP 比例	6.66512***	-6.04753***	60.3000***
貿易佔 GDP 比例	-6.16554***	6.13805***	60.7769***

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

表 4-7 Panel 單根檢檢定-東南亞洲地區

東南亞洲地區（不含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A:取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-2.60097***	-0.62754	30.0801
人均 GDP	-1.11955	2.77672	7.68722
人口密度	-1.79004**	6.23690	20.0559
化石能源消費量	-1.29443*	0.26742	28.1203
工業佔 GDP 比例	-1.83425**	0.28186	31.7011
貿易佔 GDP 比例	2.85035	3.80699	10.0357
Panel B:對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-8.41906***	-11.4479***	176.290***
人均 GDP	-10.9747***	-9.17363***	135.740***
人口密度	0.71486	-1.86485**	51.7400***
化石能源消費量	-3.94789***	-10.4688***	163.024***
工業佔 GDP 比例	-8.58137***	-10.7364***	164.007***
貿易佔 GDP 比例	-.58797***	-11.3601***	14.266***

東南亞洲地區（含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-0.01571	-0.81291	32.2833
人均 GDP	-2.06263**	-3.56648***	53.9792***
人口密度	-2.06868**	-1.11805	50.738***
化石能源消費量	1.15914	1.35185	23.1853
工業佔 GDP 比例	-1.20266	-1.22940	35.4548
貿易佔 GDP 比例	0.55895	-0.19745	25.6227
Panel B:對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-6.64552***	-9.30294***	132.656***
人均 GDP	-9.60072***	-6.57397***	91.0074***
人口密度	0.47298	-1.33249*	47.1399**
化石能源消費量	-3.52661**	-8.87690***	130.844***
工業佔 GDP 比例	-7.15914***	-9.26827***	130.782***
貿易佔 GDP 比例	-5.90397***	-9.27766***	130.840***

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

表 4-8 Panel 單根檢檢定-美洲地區

美洲地區（不含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	0.39231	0.76810	29.1895
人均 GDP	-3.18627***	1.52331	23.7295
人口密度	-10.0164***	-.76907***	143.101***
化石能源消費量	2.14605**	-0.64876	37.5271
工業佔 GDP 比例	-0.33600	-0.29299	32.2020
貿易佔 GDP 比例	0.48563	1.49750	19.7037
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-12.5243***	-12.2180***	208.419***
人均 GDP	-6.33657***	-9.18163***	154.831***
人口密度	-3.02293***	-1.86835**	58.8230***
化石能源消費量	-11.6998***	-11.9448***	201.956***
工業佔 GDP 比例	-12.1831***	-12.3592***	207.642***
貿易佔 GDP 比例	-11.7102***	-14.0595***	241.154***

美洲地區（含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-1.07278	0.41638	30.4637
人均 GDP	-1.47447*	2.16786**	52.6134**
人口密度	-5.96667***	-1.09183	97.4459***
化石能源消費量	-1.54367*	-0.21416	32.4252
工業佔 GDP 比例	0.04776	0.08730	30.9742
貿易佔 GDP 比例	-0.25113	-0.41865	35.9167
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-11.6104***	-10.6502***	169.941***
人均 GDP	-4.90919***	-6.61094***	108.455***
人口密度	-13.5179***	-13.2064***	430.532***
化石能源消費量	-10.0754***	-10.3839***	164.729***
工業佔 GDP 比例	-10.6349***	-10.0751***	156.437***
貿易佔 GDP 比例	-9.8672***	-12.1321***	202.121***

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

表 4-9 Panel 單根檢檢定-非洲及中東地區

非洲及中東地區（不含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-4.00302***	-2.39535***	79.8605***
人均 GDP	0.06183	-0.64732	47.0321
人口密度	-15.4481***	-7.42345***	175.773***
化石能源消費量	-3.55941***	-2.03816**	71.6782***
工業佔 GDP 比例	-3.77405***	-3.81665***	91.3166***
貿易佔 GDP 比例	-0.80035	-1.72721**	57.9013*
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-13.6076***	-15.8315***	311.429***
人均 GDP	-7.53163***	-11.0068***	205.213***
人口密度	-9.38229***	-8.44088***	175.372***
化石能源消費量	-12.2829***	-15.5678***	306.402***
工業佔 GDP 比例	-13.3871***	-15.4217***	301.366***
貿易佔 GDP 比例	-10.4034***	-14.3602***	277.446***

非洲及中東地區（含趨勢項）

	LL	IPS	ADF
Panel A: 取自然對數			
人均 CO ₂ 排放量	-3.53937***	-2.96298***	79.7643***
人均 GDP	3.20930	-0.12578	43.0926
人口密度	-16.1886***	-10.6924***	244.271***
化石能源消費量	-0.55551	-0.00912	47.7924
工業佔 GDP 比例	-2.14008**	-1.11857	54.6933
貿易佔 GDP 比例	-0.63397	-0.70530	54.2405
Panel B: 對數差分			
人均 CO ₂ 排放量	-12.0274***	-14.3370***	262.814***
人均 GDP	-5.87793***	-7.84258***	139.511***
人口密度	-11.9386***	-14.2629***	279.585***
化石能源消費量	-10.5428***	-13.6489***	260.077***
工業佔 GDP 比例	-11.9913***	-13.8084***	250.146***
貿易佔 GDP 比例	-8.54818***	-12.2708***	218.964***

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

第五節 一般迴歸分析法

本文從傳統 OLS 著手，並同時對二次式和三次式進行估計。方程式如式 (4-1) 與式 (4-2) 所示：

$$\ln CO_{2i} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_i + \alpha_2 \ln GDP_i^2 + \beta_1 \ln X1_i + \beta_2 \ln X2_i + \beta_3 \ln X3_i + \beta_4 \ln X4_i + \varepsilon_i \quad (4-1)$$

和

$$\ln CO_{2i} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_i + \alpha_2 \ln GDP_i^2 + \alpha_3 \ln GDP_i^3 + \beta_1 \ln X1_i + \beta_2 \ln X2_i + \beta_3 \ln X3_i + \beta_4 \ln X4_i + \varepsilon_i \quad (4-2)$$

其中， CO_{2i} 為第 i 國人均 CO_2 排放量(立方噸)； GDP_i^j 為第 i 國人均 GDP， $j=1, 2, 3$ 分別代表線性設定、二次方、三次方之設定； $X1$ 為人口密度； $X2$ 為化石能源消費量； $X3$ 為工業佔 GDP 之比例； $X4$ 為貿易佔 GDP 比例； α 與 β 則分別表示解釋變數之係數值； ε_i 則為誤差項；式 (4.1) 與式 (4.2) 是最典型之 EKC 模型設定。基於上述傳統模型之設定，我們預期係數 α_1 為顯著之正值，而 α_2 為顯著的負值，正如 EKC 倒 U 型曲線所示。

表4-10 為普通最小平方法 (OLS)，實證結果分析。歐盟地區、東南亞地區及美洲地區等三個區域，其人均 GDP 二次方均呈現負向且顯著，符合 EKC 倒 U 型曲線，即隨著人均 GDP 增加至一定水準時，碳排放量會隨經濟發展而下降，環境污染將獲得改善。此三區域之化石能源消費量均為正向且顯著，估計係數值分別為 1.2075、0.6703 及 0.786；且歐盟與東南亞地區之工業佔 GDP 比例亦為正向且顯著，估計係數值分別為 0.227 與 0.3307，此結果顯示碳排放量隨著化石能源消費量與工業佔 GDP 比例之增加而上升，進而造成環境品質之惡化。

表 4-10 普通最小平方法 OLS 實證結果

	歐盟強制性碳交易市場		國際自願性碳交易市場		東南亞地區		美洲地區		中東及非洲地區	
	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二
人均 GDP (α_1)	0.140944 *** (0.032122)	0.1216 *** (0.03568)	0.080874 *** (0.022353)	0.098773 *** (0.036874)	0.107526 *** (0.032008)	0.083381 * (0.043804)	0.085949 *** (0.022708)	0.111702 *** (0.028672)	0.107955 ** (0.046868)	0.115384 ** (0.05465)
人均 GDP 二次方 (α_2)	-0.0036 ** (0.001446)	-0.00565 ** (0.002194)	0.002427 ** (0.000826)	0.002337 *** (0.00084)	-0.00293 *** (0.000872)	-0.00217 * (0.00128)	-0.00084 * (0.000486)	-0.00158 ** (0.000698)	-0.00053 (0.000788)	-0.00045 (0.000849)
人均 GDP 三次方 (α_3)		0.000101 (-0.000082)		-0.000024 (-0.000039)		0.000019 (-0.000023)		-0.000017 (-0.000011)		-0.000003 (-0.000010)
人口密度	0.073471 (0.083986)	0.081271 (0.084176)	0.111564 (0.373073)	0.095137 (0.374545)	-0.37563 (0.449859)	-0.38675 (0.450247)	0.121693 (0.455899)	0.163341 (0.456312)	-0.37859 (0.495693)	-0.36677 (0.498007)
化石能源消費量	1.20752 *** (0.095211)	1.205187 *** (0.095179)	1.364917 *** (0.131891)	1.371431 *** (0.1325)	0.670281 *** (0.060618)	0.67195 *** (0.060677)	0.786007 *** (0.067188)	0.775281 *** (0.067515)	0.398138 *** (0.066538)	0.398073 *** (0.06658)
工業佔 GDP 比例	0.22696 *** (0.056433)	0.230993 *** (0.056497)	0.050649 (0.056062)	0.045131 (0.05686)	0.330715 *** (0.091021)	0.322442 *** (0.091631)	0.034216 (0.045645)	0.034276 (0.045598)	0.122783 * (0.067566)	0.123106 * (0.067619)
貿易佔 GDP 比例	0.046846 (0.041204)	0.054974 (0.041698)	0.067573 ** (0.031286)	0.065747 ** (0.031471)	0.020537 (0.041529)	0.02405 (0.041773)	0.035807 (0.030107)	0.032726 (0.03015)	0.056474 (0.054327)	0.053848 (0.055258)
截距項	0.497465 (0.34667)	0.678851 * (0.375974)	-0.26584 (0.542217)	-0.30707 (0.547131)	2.880482 *** (0.93013)	2.910512 *** (0.93124)	0.258133 (0.949723)	0.203563 (0.949472)	1.349079 (1.683995)	1.267965 (1.71267)
R-squared	0.2975	0.2996	0.3894	0.3904	0.2839	0.2850	0.2455	0.2484	0.0660	0.0661
Adj R-squared	0.2893	0.2901	0.3736	0.3719	0.2741	0.2736	0.2374	0.2390	0.0585	0.0573

註：1. ***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

2. 括號內代表標準差

3. 粗體為各區所選取之最適模型

第六節 FGLS 實證結果分析

由前章 Panel Data 模型探討可知，可透過 F 檢定、LM檢定、Hausman 檢定來選擇最適模型，經檢定結果顯示三種檢定均未達 10% 之顯著水準。為求估計上之嚴謹，再針對殘差部分進行異質變異及自我相關檢定，檢定結果如表 4-11 所示，除歐盟強制性碳交易市場拒絕虛無假設外，其餘皆無法拒絕虛無假設，表示除歐盟強制性碳交易市場存在自我相關外，其餘地區均無顯示自我相關；異質變異檢測部分均拒絕虛無假設，即存在異質變異之現象。故本研究最終以可行的一般化最小平方法 FGLS 為估計模型。

表 4-11 異質變異與自我相關檢定

	異質變異檢定		自我相關檢定	
	模型一	模型二	模型一	模型二
歐盟強制性碳交易市場	96.47***	100.12***	3.829***	3.878***
國際自願性碳交易市場	20.22***	30.05***	0.510	0.518
東南亞地區	244.97***	247.32***	0.324	0.324
美洲地區	195.57***	194.67***	0.001	0.01
中東及非洲地區	557.64***	558.28***	0.220	0.021

註：***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

本研究以人均 GDP 的二次方及三次方之二種模型檢定經濟發展與碳排放量之間的關係，並分為區域性及參與碳交易市場二個部分說明。區域性分為歐盟地區、東南亞地區、美洲地區、中東及非洲地區，樣本期間為 1973~2007 年；碳交易市場則以正式實施碳交易制度時間為考量，歐盟強制性碳交易市場於 2005 年實施碳交易，國際自願性碳交易市場於 2003 年實施碳交易，以上之實證結果參見表 4-12、4-13 及 4-14，其 FGLS 實證結果分析如下：

一、區域性

歐盟地區之實證結果呈現 EKC 之 N 型的三次方多項式關係，但因三次方之估計值 α_3 很小，亦可視為符合 EKC 倒 U 型曲線。其估計係數 α_1 為 0.110 呈顯著正相關、 α_2 為 -0.0059 呈顯著負相關、 α_3 為 0.0002 呈顯著正相關，即隨著人均 GDP 提高至某一水準時，CO₂ 排放量與 GDP 為反向變動，此階段經濟發展與碳排放可相輔相成；當 EKC 再度上揚呈 N 型曲線時，其碳排放與人均 GDP 之間趨於不穩定

狀態，此種現象 de Bruyn et. al.(1998) 稱為「重組假說」，即經濟發展與環境污染分離狀態不會長期持續下去，當經濟發展達到一定水準後會重新組合，就經濟意涵而言，當經濟發展促進了技術的提高，進而在某種程度上抑制了污染物的排放，但就經濟總量之擴張卻促進更多的能源消費，導致污染物排放的增加，因而出現重新組合的情況，此為一種警訊，即 EKC 倒 U 型不會自然發生，需輔其他政策方能達成。人口密度之估計係數為 0.081 呈正向且顯著，此與以往文獻之研究及預期相符，即人口密度高地區，相對於人口稀少地區所使用之各種資源消耗來得高。化石能源消費之估計係數值為 1.1796 呈正向且顯著，且高於東南亞、美洲、中東及非洲等區域，係因歐盟國家多為已開發國家，其優渥的所得，誘使更多之消費慾望產生，間接製造更多之污染；工業之附加價值佔 GDP 比例的估計係數值為 0.2005 呈正向且顯著，此結果顯示當產業結構越偏向工業導向時，其 CO₂ 排放量將越高，尤其是高度能源密集產業，其能源消費量往往超過總能源消費量之半數以上；然，現今全球大部分國家仍為工業密集之國家，需慎思如何在致力於經濟發展與降低環境污染二者之間取得平衡。貿易佔 GDP 比例之估計係數為 0.0707 呈正向且顯著，表示貿易開放度的提高會導致碳排放量的增加。

東南亞及美洲地區之實證結果顯示均符合 EKC 倒 U 型曲線。其 α_1 估計係數分別為 0.1067 與 0.087 呈顯著正相關； α_2 估計係數分別為 -0.003 與 -0.0009 呈顯著負相關，即隨著人均 GDP 增加至一定水準時，碳排放量會隨經濟發展而減緩，環境污染將獲得改善。其中東南亞地區之化石能源消費與工業附加價值佔 GDP 比例之估計係數值分別為 0.667 與 0.332 呈顯著正相關，此結果顯示化石能源消費與工業佔 GDP 比例對碳排放量為正向影響，會導致環境污染之惡化；美洲地區之化石能源消費亦為正向之影響。

中東及非洲地區之實證結果顯示碳排放與人均 GDP 呈單調遞增關係，其 α_1 估計係數為 0.1219 呈顯著正相關； α_2 為 -0.0003 不顯著，即此區域之國家除中東少數產油國外，平均而言每個國家之人均 GDP 皆不高，因此人均 GDP 對 CO₂ 排放量的影響情形不太明顯。其 α_2 為負值，雖不顯著卻意涵著其環境品質初步隨著國民所得水準之提升稍微獲得改善；唯，此區大部分國家皆處於低度開發階段之國家，各國雖萌發環境品質之改善意識，卻不是各國發展之重心；化石能源消費之估計係數值為 0.4067 呈顯著正相關。工業佔 GDP 比例之 0.1218 呈顯著正相關。人口密度、及貿易佔 GDP 比例之估計係數並不顯著。

表 4-12 FGLS 迴歸模型實證結果-依區域性

變數名稱	歐盟地區		東南亞地區		美洲地區		中東及非洲地區	
	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二
人均 GDP (α_1)	0.1397*** (-0.0262)	0.1102 *** (-0.0290)	0.1067 *** (-0.0319)	0.0811 * (-0.0436)	0.0870 *** (-0.0223)	0.1136 *** (-0.0281)	0.1219 *** (-0.0441)	0.1213 ** (-0.0514)
人均 GDP 二次方(α_2)	-0.0028** (-0.0012)	-0.0059 *** (-0.0018)	-0.0030 *** (-0.0009)	-0.0022 * (-0.0013)	-0.0009 * (-0.0005)	-0.0016 ** (-0.0007)	-0.0003 (-0.0008)	-0.0003 (-0.0008)
人均 GDP 三次方(α_3)		0.0002 ** (-0.0001)		0.00002 (0.00002)		-0.00002 (0.00001)		0.0000002 (0.00001)
人口密度	0.0680 (-0.0451)	0.0810 * (-0.0451)	-0.3738 (-0.4516)	-0.3852 (-0.4528)	0.1175 (-0.4387)	0.1596 (-0.4350)	-0.4207 (-0.4320)	-0.4215 (0.43439)
化石能源 消費量	1.1753*** (-0.0920)	1.1796 *** (-0.0917)	0.6672 *** (-0.0602)	0.6682 *** (-0.0602)	0.7933 *** (-0.0665)	0.7840 *** (-0.0667)	0.4067 *** (-0.0660)	0.4067 ** (-0.0660)
工業佔 GDP 比例	0.1971*** (-0.0536)	0.2005 *** (-0.0531)	0.3319 *** (-0.0906)	0.3236 *** (-0.0912)	0.0336 (-0.0454)	0.0333 (-0.0453)	0.1218 * (-0.0672)	0.1218 * (-0.0672)
貿易佔 GDP 比例	0.0576* (-0.0335)	0.0707 ** (-0.0338)	0.0195 (-0.0413)	0.0231 (-0.0416)	0.0391 (-0.0299)	0.0369 (-0.0298)	0.0620 (-0.0532)	0.0622 (-0.0539)
截距項	0.2791 (-0.2689)	0.5366 * (-0.2909)	2.8947 ** (-0.9332)	2.9295 *** (-0.9358)	0.2567 (-0.9149)	0.1998 (-0.9062)	1.3149 (-1.4692)	1.3210 (-1.4979)

註：1. ***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。

2. 括號內為標準差

3. 粗體為各區所選取之最適模型

二、碳交易市場

國際碳交易市場在京都議定書機制下迅速興起，美國芝加哥氣候交易所 (CCX) 於 2003 年 1 月成立，為企業自願參與溫室氣體排放交易之交易平台；歐盟為履行其京都議定書之減量承諾於 2005 年 1 月開始實施強制性碳交易制度。以下為 FGLS 實證結果分析：

(1). 歐盟強制性碳交易市場

歐盟碳交易市場實證模型分為三個期間，分別為全部樣本期間 (1973-2007)、未實施碳交易期間 (1973-2005) 及實施碳交易期間 (2006-2007)。實證結果顯示三個期間均呈現 EKC 之 N 字型的三次方多項式關係，但因三次方之估計值 α_3 很小，亦可

視為符合 EKC 倒 U 型曲線；人口密度之估計係數為 0.345 呈顯著正相關；化石能源消費量之估計係數值為 1.568 呈顯著正相關；工業之附加價值佔 GDP 的估計係數值為 1.107 呈顯著正相關；貿易之估計係數為 0.153 呈顯著正相關。由於歐盟之碳交易對象僅限於歐盟國家，為總量管制之現貨核配權，即以貿易方式轉讓給另外一個未能完成減排義務之附件一國家，並同時從轉讓方之允許排放限額扣除相同之賣出額度，故尚需輔其他政策方能達成污染減排之成效。¹⁰

表 4-13 FGLS 迴歸模型實證結果-歐盟強制性碳交易市場

變數名稱	全部期間 (1973-2007 年)		未實施碳交易期間 (1973-2005 年)		實施碳交易期間 (2006-2007 年)	
	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二
人均 GDP (α_1)	0.1397*** (0.0262)	0.1102*** (0.0290)	0.1498*** (0.0275)	0.1216*** (0.0308)	-0.3092 (-0.8057)	5.2786* (-2.8772)
人均 GDP 二次方 (α_2)	-0.0028** (0.0012)	-0.0059*** (0.0018)	-0.0035*** (0.0012)	-0.0062*** (0.0018)	0.2598 (-0.4266)	-0.6215* (-0.3396)
人均 GDP 三次方 (α_3)		0.0002** (0.0001)		0.0001** (0.0001)		0.0231* (-0.0126)
人口密度	0.0680 (0.0451)	0.0810* (0.0451)	0.0811* (0.0460)	0.0922** (0.0460)	0.5198*** (-0.1791)	0.3448*** (-0.1225)
化石能源消費量	1.1753*** (0.0920)	1.1796*** (0.0917)	1.1895*** (0.0975)	1.1907*** (0.0973)	1.5876*** (-0.1244)	1.5678*** (-0.1042)
工業佔 GDP 比例	0.1971*** (0.0536)	0.2005*** (0.0531)	0.2037*** (0.0568)	0.2081*** (0.0564)	1.1666*** (-0.1823)	1.1071*** (-0.1668)
貿易佔 GDP 比例	0.0576* (0.0335)	0.0707** (0.0338)	0.0797** (0.0347)	0.0897*** (0.0349)	0.1868** (-0.9162)	0.1530* (-0.0897)
截距項	0.2791 (0.2689)	0.5366* (0.2909)	0.4988* (0.2983)	0.7340** (0.3204)	-1.2487 (-3.3412)	-15.6521** (-7.5987)*

註：1. ***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。
2. 括號內為標準差

¹⁰ 歐洲環境局 EEA (European Environment Agency) 於 2007 年 11 月發佈之報告顯示，歐盟 15 國於 2005 年的總 CO₂ 排放量僅較基準年 1990 年的排放水準降低 2%，若依照此趨勢及現有政策加以預測，2010 年之排放水準僅能降低 4%，無法達到京都議定書中訂定之 2008-2012 年平均總排放需較 1990 年排放水準減低 8% 之減量目標；報告指出，若各制約國將計畫中之環境政策儘速落實，並輔以排放交易機制 (ETS) 及京都議定書三大機制等政策，將可於 2010 年時順利達到京都議定書減量目標，甚至於 2010 年減量成效將超過減量目標，將排放量將降低至 1990 年溫室氣體排放量的 88.6%。EEA (2007b), Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007. http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2007_5/en

(2).國際自願性碳交易市場

實證模型分為全部樣本 (1973-2007) 、未實施碳交易 (1973-2003) 及實施碳交易 (2004-2007) 等三個期間；自願性碳交易市場以澳洲、日本、美國、加拿大、巴西、墨西哥、紐西蘭等七國為樣本，均為高度開發國家。實證結果顯示全部樣本期間及未實施碳交易期間其 EKC 為單調遞增曲線，僅正式實施碳交易期間 (2004-2007) 之實證結果符合 EKC 倒 U 型曲線，即在資源配置全球化之背景下，透過金融交易方式來達減到 CO₂ 減排之效果彰顯，其 α_1 估計係數值為 0.623 為顯著正相關、 α_2 為 -0.0101 為顯著負相關；化石能源消費之估計係數值為 1.35 呈顯著正相關，為五個區域中估計係數值最高之區域，此意涵經濟總量之擴張會促進更多的能源消費，間接製造更多之污染；工業之附加價值佔 GDP 的估計係數值為 -0.426 呈顯著負相關，表示隨著產業結構之改變碳排放量隨之降低，帶來環境污染之改善；貿易佔 GDP 之比例的估計係數值為 0.529 呈顯著正相關，若以貿易取待代了傳統之產業結構，可能隱含了污染天堂假說 (Dinda, 2004)，因參與自願性碳交易國家，均為經濟高度發展國家，其環境管制之標準高，可能導致經濟高度發展國家，透過貿易方式將一些污染產業轉移至發展中國家，因而對發展中國家之環境造成負面影響。

表 4-14 FGLS 迴歸模型實證結果-國際自願性碳交易市場

變數名稱	全部期間 (1973-2007 年)		未實施碳交易期間 (1973-2003 年)		實施碳交易期間 (2004-2007 年)	
	模型一	模型二	模型一	模型二	模型一	模型二
人均 GDP (α_1)	0.0804*** (0.0222)	0.1001*** (0.0364)	0.0794*** (0.0242)	0.0884** (0.0371)	0.6231*** (-0.1256)	0.5107*** (-0.1822)
人均 GDP 二次方 (α_2)	0.0024** (0.0008)	0.0023*** (0.0008)	0.0025*** (0.0009)	0.0025*** (0.0009)	-0.0101*** (-0.0037)	0.0024 (-0.0156)
人均 GDP 三次方 (α_3)		-0.0000264 (0.0000385)		-0.0000131 (0.0000417)		-0.0003 (-0.0004)
人口密度	0.1143 (0.3737)	0.0968 (0.3752)	-0.1249 (0.4094)	-0.1342 (0.4108)	0.1143 (0.3737)	0.8951 (-0.8229)
化石能源消費量	1.3656*** (0.1304)	1.3728*** (0.1308)	1.3582*** (0.1285)	1.3622 (0.1292)	1.3500*** (-0.2378)	1.4386*** (-0.2789)
工業佔 GDP 比例	0.0532 (0.0554)	0.0476 (0.0561)	0.0705 (0.0589)	0.0683 (0.0598)	-4.2632*** (-0.1205)	-0.4270*** (-0.1346)
貿易佔 GDP 比例	0.0678** (0.0309)	0.0658** (0.0311)	0.0664** (0.0305)	0.0656** (0.0307)	0.5286*** (-0.0849)	0.5045*** (-0.1106)
截距項	-0.2646 (0.5436)	-0.3104 (0.5488)	-0.0158 (0.5655)	-0.0361 (0.5699)	-5.5821*** (-0.9772)	-5.5821*** (-1.2346)

註：1. ***、**與*分別表示 1%、5% 與 10%顯著水準下，顯著異於零。
2. 括號內為標準差

第五章 結論與建議

本研究以全球觀點出發，使用橫跨 70 個國家在 1973 至 2007 年間之長期追蹤資料，並以區域性及參與碳排放權交易之國家為分類，進行經濟發展與碳排放之間是否存在 EKC 倒 U 型曲線之實證分析，本章將針對研究結果提出結論及建議，並說明本研究限制與後續研究之方向。

一、研究結論

東南亞地區及美洲地區實證結果符合 EKC 倒 U 型曲線，即在高速經濟發展階段，碳排放量會隨經濟發展不斷改善，表示促進經濟發展可以成為解決環境污染惡化的政策目標之一，但不意味著經濟發展到一定階段，環境污染惡化問題會自然得到解決。因為，無論經濟如何發展，環境污染不可能為零或為負，且環境有其生態門檻，當環境污染之問題積累到超越其所能負荷之能力時，自然生態將會崩潰，受到破壞的環境不可能再恢復到原來狀態。因此，我們必需以政策措施來防止倒 U 型曲線超出生態門檻，而 EKC 是經濟發展與環境污染惡化之間的警訊，不能被作為「先污染，後治理」的藉口。

而歐盟地區出現 EKC 之 N 型的三次方多項式關係，但因三次方之估計值 α_3 很小，亦可視為符合 EKC 倒 U 型曲線。此亦說明了在現實環境中存在很多波動效應，即 EKC 在既定形式上對應特定時期之經濟、政治和技術條件，並非一成不變，而是一個動態的變化過程，當經濟發展促進了技術的提高，進而在某種程度上抑制了污染物的排放，但就經濟總量之擴張會促進更多之能源消費，導致污染物排放的增加，因而出現重新組合情況，此意涵著經濟發展與環境污染之間的負向關係可透過政策響應來實現的。例如已開發國家享有更潔淨之空氣品質和水源，在於其製定嚴格之環境品質標準及嚴格執行環境保護之法律所致。在中東及非洲地區呈現單調遞增關係，即碳排放隨著經濟發展持續惡化中。眾所周知，已開國家在近 200 年之工業化過程中，發展前期所造成之環境污染，使其後期耗費大量之資源進行環境污染的復原工作，然中東及非洲地區大部分國家皆處於低度開發階段國家，各國雖萌發環境品質之改善意識，卻不是各國發展之重心，因此，應以此為鑑，極力避免「先污染，後治理」之過程，雖然 EKC 自提出以來，仍然存在很多不足之處，但它確實提供了「先污染，後治理」發展過程中直接、最有力的資料，亦為處理經濟發展與環境污染之

間的關係提供了雙贏的理論基礎。

就碳交易市場交易部分，參與自願性碳交易市場之地區，於實施碳交易期間(2004-2007)之實證結果符合 EKC 倒 U 型曲線，即在資源配置全球化背景下，以特定 CO₂ 減量為目標之前題，各國透過交易後之利得與成本總和，會比單獨自行直接減量後之成本總和來得低 (Tietenberg, 1985)，尤其排放交易 (ET) 可由民間企業進行排放量交易，不同於共同減量 (JI) 與清潔發展機制 (CDM) 必須符合聯合國及國家認證之規範。因排放交易類似商品期貨，因此，透過金融交易方式來達到 CO₂ 減排之成效獲得彰顯，未來各企業必將紛紛進入碳權交易體系買賣排放權利，已為世界各國及企業因應氣候變遷與解決環境污染的方法之一。排放權交易制度為一種接近市場誘因之機制，可達到成本有效性 (Montgomery, 1972)，亦為產生環境顧志耐曲線原因之一 (Unruh and Momaw, 1998)。因為隨著市場機制之完備，環境資源與品質亦將逐步被納入市場機制中，由原先之外部成本轉變為市場機制中的內部成本，而市場機制之內生自我調節功能會阻止內部成本的增加，因而提高資源利用率以消化污染內部成本。然，國際間之碳排放交易制度仍存在排放權分配公平性問題，由於各國經濟發展差距及能源使用狀況各自不同，因此必需有一套公平且合理的分配方式，使各國均能蒙受其利，方能促使世界各國全力協助，推動排放權交易制度；而歐盟性碳交易市場實證結果為 EKC 之 N 型三次方多項式關係，但因三次方之估計值 α_3 很小，亦可視為符合 EKC 倒 U 型曲線。歐盟碳交易市場是為達到京都議定書所訂定之減量目標應運而生，為總量管制，其交易對象為締約國，歐盟國家雖致力於調整能源政策與加強法律管制，致使污染排放量出現了下降趨勢，但伴隨著經濟總量之擴張，需要消耗更多的能源來支撐經濟成長，因此反應在污染物的排放量上。依據歐洲環境局 (EEA, 2007) 發佈之報告顯示，歐盟 15 國於 2005 年的 CO₂ 總排放量僅較基準年 1990 年的排放水準降低 2%，依此趨勢預測，2010 年將無法達到京都議定書中所訂定的減量目標；唯，若各締約國儘速落實計畫中之環境政策，並輔以排放交易機制及京都議定書三大機制等政策，將可於 2010 年時順利達到京都議定書減量目標，甚至超過減量目標，將排放量將降低至 1990 年溫室氣體排放量的 88.6%。

二、政策建議

綜上所述，污染對環境造成不可磨滅之傷害，根源於世界各國普遍存在「坐享其成」的心態，當污染對環境產生危害後，才開始採取治理行動，即「先污染、後治理」

現象，然而這種對環境變化滯後性的反應，因新的環境污染因素不斷發生下，從局部環境問題不斷累積，最終形成全球性的生態危機。因此，提出以下三點建議：

- 1.可藉由 EKC 倒 U 型曲線所刻畫出的客觀現象，更加洞察經濟發展與碳排放之間的關係，雖然 EKC 本身有其缺點與不足之處，但其總結了經濟發展對碳排放之間的影響結果，作為一種研究方法有其獨到優點，若能運用實證結果，妥善分析其原因，亦能適時揮發警惕效果，對改善環境污染不失為一種實用方法。
- 2.現今全球大部分國家仍處於工業密集之階段，根據本研究實證結果亦顯示，化石能源消費量及工業佔 GDP 比例在各區域及碳交易市場均為正相關且顯著，因此，建議各國需慎思經濟發展與環境永續發展之間的抵換關係，並於二者間取得平衡關係；即當開發中國家礙於經濟發展需求無法於短期內轉型時，已開發國家應遵循京都議定書之相關規定予以協助，共同致力於降低碳排放量，改善全球之環境品質。
- 3.自1997年京都議定書制訂以量制價之排放權交易制度以來，成為許多國家抑制碳排放之政策，本研究實證結果亦印證了國際自願性碳交易市場存在 EKC 倒 U 型曲線，因此建議各國可以美國及日本等自願性碳交易市場之交易機制為藍本，作為建置適合本國國情之排放交易制度的參考。

三、研究限制及後續研究方向

礙於研究時間及數據來源之局限，只能反映部分影響 EKC 的因素，無法全面反映諸如各國之環保法規與政策實施等因素；後續研究將蒐集世界各國之減量政策，觀察及比較其執行之成效，藉此發掘更有效率之環境污染減量政策。

參考文獻

中文部分：

京都議定書全文，<http://www.tri.org.tw/unfccc/Unfccc/UNFCCC02.htm>

Stix, G. (2006)。陳儀蓁譯。「全球暖化對抗指南」，《科學人》，10 月，50-53。

王運銘 (2008)「聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 第 13 次締約國大會暨京都議定書第 3 次締約國會議(COP13/MOP3)」出國報告書。

http://open.nat.gov.tw/OpenFront/report_download.jsp?sysId=C09603398

李堅明、謝碧鳳 (2002)，「貿易自由化之環境影響評估—以台灣環境顧志耐曲線為例」，台灣土地金融季刊，第39 卷第3 期，第157-177 頁

吳珮瑛 (2003)，「經濟發展與環境品質」，出自於陳明健主編「自然資源與環境經濟學—理論基礎與本土案例分析」，雙葉書廊。

鄭睿合 (2009)，「台灣與日、韓環境顧志耐曲線之應用—二氧化碳排放變動分析」，國立中央大學產業經濟研究所碩士論文。

英文部分：

- Agras, J. And D. Chapman, (1999), "A Dynamic Approach to the Environment Kuznets Curve Hypothesis," *Ecological Economics*, 28, pp. 267-277.
- Andreon, J. and A. Levinson (2001), "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve," *Journal of Public Economics*, 80(2):269-286.
- Alpay, S. and S. Mahmud, (2002), "Testing the Validity of Environmental Kuznets Curve Hypothesis," Paper Presented at the 5th Conference on Global Economic Analysis, June 5-7, Taipei, Taiwan.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.O., Levin, S., Mäler, K.G., Perrings, C., and Pimental, D., (1995), "Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment," *Science*, 268, pp.520-521.
- Barbier, E. B., (1997), "Introduction to the Environmental Kuznets Curve Special Issue," *Environment and Development Economics*, Vol. 2, No. 4, pp. 357-367.
- Bimonte, S., (2002), "Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve," *Ecological Economics* 41, 145-156.
- Coase, R. H., (1960), "The problem of social cost," *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44.
- Cole, M.A., Rayner, A.J., and Bates, J.M., (1997), "The Environmental Kuznets Curve: an Empirical Analysis," *Environment and Development Economics*, 2, pp.401-416.
- Cole, M. A. and Elliott, R. J. R., (2006), "Endogenous Pollution Havens: Does FDI Influence Environmental Regulations," *Scandinavian Journal of Economics*, 108 (2), 157-178.
- Dales, J. H., (1968), "Pollution, Property and Prices," Toronto: *University of Toronto Press*.
- Dickey, D. A. and W. A. Fuller, (1979), "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time-Series with a Unit Root," *Journal of the American Statistical Association*, Vol.74, pp.427-431.
- Dasgupta, S., B. Laplante, N. Mamingi, and H. Wang, (2001), "Inspections, Pollution rices and Environmental Performance: Evidence from China," *Ecological Economics*, 36, 487-498.
- Dinda, S., (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis : A Survey," *Ecological Economics*. 49,431-455.
- Friedl, Birgit and Michael Getzner, (2003), "Determinants of CO2 Emissions in a Small Open Economy," *Ecological Economics*, 45 (4), 133-48.
- EU. (2002). 2002/358/EC: Council decision of 25 April 2002 concerning the approval, on behalf of the European community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments

thereunder.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002D0358:EN:HTML>
TML 下載日期：2008/7/26

- EU. (2003). Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003, establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0087:EN:NOT>, 下載日期：2008/7/26
- European Commission. (2006a). Building a global carbon market – Report pursuant to Article 30 of Directive 2003/87/EC.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0676en01.pdf
下載日期：2008/7/26
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger, (1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement,” NBER working papers 3914, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Grossman, G. M. and Krueger, A., (1993), “Environmental Impacts of A North American Free Trade Agreement,” in P. Garber, ed., *The U. S. - Mexico Free Trade Agreement*, Cambridge MA: MIT Press, 13-56.
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger, (1995), “Economic Growth and the Environment,” *Quarterly Journal of Economics*, 110,353-377.
- Greene, H.W., (2000), *Econometric Analysis*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Galeott, M., A. Lanza, and F. Pauli, (2006), “Reassessing the Environmental Kuznets Curve for CO₂ Emissions: A Robustness Exercise,” *Ecological Economics*, 57: 152-163.
- Holtz-Eakin, D., Selden, T.M., (1995), “Stoking the fires? CO₂ Emissions and Economic Growth,” *Journal of Public Economics*. 57:85-101.
- Hettige, H., M. Mani and D. Wheeler, (1997), “Industrial Pollution in Economic Development: Kuznets Revisited.” World Bank, Policy Research Department Working Paper, No. 1876.
- Im, K.S., H. M. Pesaran and Y. Shin, (2003), “Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels,” *Journal of Econometrics* .Amsterdam: Vol. 115, Iss. 1; p. 53
Kuznets curve: turning a black box into a policy tool, *Environment and Development Economics*, Vol. 2, Issue 4, November 1997.
- Kuznet, S., (1955), “Economic Growth and Income Equality,” *American Economic Review*. 45,1-28.
- List, J. A. and C. A. Gallet, (1999), “The Kuznets Curve: What Happens after the Inverted-U,” *Review of Development Economics*, 3, 200-206.
- Levin, A., C. F. Lin, and C. S. J. Chu, (2002), “Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-sample Properties,” *Journal of Econometrics*, 108, 1-24.

- Liao, H. C., and Suen, Y. B., (2006), "A Quantile Inference of Environmental Kuznets Hypothesis: Economic Growth and CO2 Emission," Paper Presented at the *International Conference on Trade and Industrial Economics*, March 24, Taipei, Taiwan.
- Moomaw, W. R. and G. C. Unruh, (1997). "Are Environmental Kuznets Curves Misleading? The Case of CO2 Emissions," *Environment and Development economics*.2, 451-463.
- Panayotou, T., (1993), "Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development," Working Paper WP238 Technology and Employment Programme, International Labor Office, Geneva.
- Papanek, G. F. and O. Kyn, (1986), "The Effect on Income Distribution of Development, the Growth Rate and Economic Strategy," *Journal of Development Economics*. 23, 55-65.
- Shafik, N. and S. Bandyopadhyay, (1992), "Economic growth and environmental quality : time series and cross-country evidence", *working paper*.
- Selden, T. M. and D. Song, (1994), "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 147-162.
- Stern, D.I., Common, M.S., and Barbier, E.B., (1996), "Economic Growth and Environmental Degradation: the Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development", *World Development*, 24 (7), pp.1151-1160.
- Scruggs, L.A., (1998), "Political and Economic Inequality and the Environment", *Ecological Economics*, 26, 259-275.
- Sinha, D. R., (2010), "The Environmental Kuznets Curve Hypothesis and Legacy Pollution: A Geohistorical Analysis of The Environmental Consequences of Industrialization in Worcester Massachusetts" , *The Industrial Geographer*.7(1), 1-18.
- Tahvonen, O. and J. Kuuluvainen, (1993), "Optimal Growth with Renewable Resources and Pollution, " *European Economic Review*, 35, pp.650-661.
- Tietenberg, T. H., (1985), "Emissions Trading: an Exercise in reforming pollution policy", Washington, D.C.: Future, Inc.,
- Tisdell, C., (2001), "Globalisation and sustainability: environmental Kuznets curve and the WTO". *Ecological Economics* 39(2), 185-196
- Vincent J.R., (1997), "Testing for environmental Kuznets curves within a developing country", *Environment and development economics* 2, 417-431.
- Wu, P.-I., (1998), "Economic Development and Environmental Quality: Evidence from Taiwan, " *Asian Economic Journal*. 12(4), 395-412.
- World Bank, (2008), State and trends of the carbon market 2008 .