

國立臺灣大學社會科學院經濟學系在職專班



碩士論文

Mid-Career Master Program

Department of Economics

College of Social Sciences

National Taiwan University

Master Thesis

從經濟發展路徑探討電力之於我國的意義

Correlation between electric power and economic
development in Taiwan

陳中舜

Jongshun Chen

指導教授：毛慶生 博士

Advisor: Ching-Sheng Mao Ph.D.

中華民國 103 年 10 月

October, 2014

謝辭



這份報告所以能夠完成，個人最想感謝的有：

1. 毛慶生教授的指導
2. 陳正倉副主委、謝得志副主委的指教
3. 蕭代基教授的啟發與林立夫所長、葛復光副主任的照顧

當然還有核研所同事，鄭伯彥先生、卓金和博士、柴蕙質博士、蔡翼澤博士、蕭子訓博士、胡瑋元先生、劉芳慈小姐、曾盟峯先生等人。另外感謝我的家人，特別是吳承育小姐與李雪女士。

最後謹將這份報告獻給先父 陳仲奎先生。

論文摘要



從 1991 年環境庫茲奈曲線 (EKC) 首次被 Grossman 與 Krueger 提出後，即開啟了環境壓力與經濟成長相依性討論之先河。而後十數年間，由於全球氣候變遷的惡化情形更行顯著，EKC 的研究逐漸被聚焦於人均 CO₂ 與人均 GDP 關係的探討上。然因各國國情差異甚大且受到諸如國際貿易、技術能力、推動政策、發展時間、計量條件等諸多因素的影響，對於 EKC 假說是否成立，各方說法莫衷一是。

本研究採用了發展經濟學 (Development economics) 的觀點，把『人口』視成一國經濟規模與產業結構的制約條件，並優先將人口超過 1000 萬且人均 GDP 超過 10,000 美元的國家萃析出來。根據 IEA 全球統計資料的 138 國家中，2011 年時能滿足上述條件的共計 18 個國家 (含台灣)，這其中 2/3 國家有現役操作中的核電機組。若將範圍縮小至人均 GDP 達到 30,000 美金的國家，其中核能國家佔比提高至 8/9，且有 6 個國家的 EKC 曲線可被觀察到明顯的倒 U 現象

再以能源經濟的觀點，分組闡述 18 個代表國因社經背景與能源/核能策略差異所導致的影響，並針對台灣以多因素生產力 (Multifactor Productivity, 簡稱 MFP) 法，探討電力供需之問題。結果得知：國家民主程度、市場開放與否、自主能源 (含核能) 佔比，皆是支撐人口超過千萬國家能否持續發展的關鍵。

對於政策意涵上，由於我國缺乏自主能源，故中、短期內仍需依靠核電作為穩定電源供給與發展經濟之基礎，此有賴於一個更有權力與公信力的獨立核安管制機構之建立。中、長期而言，我國必須從放鬆電價管制做起，不僅要讓電力反映真實內外部成本，亦可以引導資源被最有效利用，進而促進產業升級。

關鍵字：環境庫茲奈曲線、多因素生產力、自主能源佔比、電力供需、核能。

Abstract



Environmental Kuznets Curve (EKC) which discusses the dependence between environmental pressure and economic growth is pioneered by Grossman and Krueger in 1991. After that, more significant deterioration of global climate change can be observed, hence, the research of EKC is transferred to the correlation between per capita GDP and CO₂ emissions per capita. Due to the great different situations of various countries and the impact from international trade, technical capacity, policy execution, development history and measurement conditions, there are many comments about the accuracy of EKC hypothesis.

To simplify analytical model, this study is based on the view of development economics, and take 'population' as a constraint of a country's economic scale and industrial structure. The countries with more than ten million populations and more than 10,000 GDP per capita are chosen for further analysis. There are 18 countries (including Taiwan) satisfied above conditions in 2011 from the IEA global statistics, and the 2/3 countries have commercially operating nuclear power plants. Focus on the countries with more than 30,000 GDP per capita, there are 8/9 countries with commercially operating nuclear power plants, and significant inverted U-shaped curves can be observed in which 6 countries.

Furthermore, this study describes the effects of socioeconomic background, energy strategy and nuclear strategy for the 18 representative countries from the point of energy economic. Especially for Taiwan, multifactor productivity (MFP) method is utilized to find the difficulties currently encountered in our country and to seek solutions. From the analytical results, we know that national democratic extent, markets open or not and independent of energy (including nuclear energy) proportion are key factors for a country with more than ten million populations to keep sustainable development.

Key Words : EKC, MFP, nuclear energy, GDP, independent of energy

目錄



論文口試委員審定書	i
謝辭	ii
中文摘要	iii
英文摘要	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第 1 章 緒論	1
1.1 經濟與能源	1
1.2 研究背景與動機	5
1.3 本文架構	7
第 2 章 文獻探討與回顧	8
2.1 核電現況與經濟發展	8
2.2 核電與能源安全	12
2.3 核電與環境保育	13
2.4 核電替代成本估算	18
第 3 章 研究方法	23
3.1 環境庫茲奈曲線介紹	23
3.2 多因素生產力分析	27
3.3 最小平方法迴歸分析	29
第 4 章 EKC 結果分析	32

4.1	環境庫茲奈曲線之分析	32
4.2	低電價對於 EKC 之影響	40
第 5 章	我國電力與經濟成長之探討	43
5.1	我國電力供需與經濟成長	43
5.2	我國工業用電之初探	49
第 6 章	結論與建議	55
6.1	研究結論	55
6.2	後續建議	58
參考文獻	61



表目錄



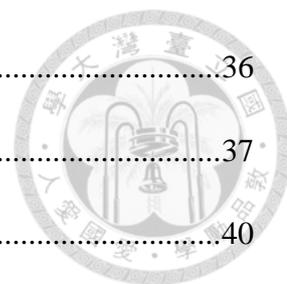
表 2-1 現有與規劃中之核能使用國.....	11
表 2-2 類能源技術於的減碳機會成本分析.....	15
表 2-3 各類電力技術的生命週期 CO2 排放.....	15
表 2-4 我國近期能源政策之演進.....	17
表 2-5 核電與離岸風電、太陽光電土地使用比較.....	19
表 2-6 我國太陽光電與風力發電的成本效益評估.....	21
表 3-1 不同 EKC 的成因.....	24
表 3-2 EKC 的統計研究.....	25
表 3-3 18 個樣本國 人口、人均 GDP 與核能發電佔比.....	26
表 4-1 18 個樣本國群組分類.....	32
表 4-2 EKC 與人均 GDP、核能佔比、燃煤趨勢及工業附加價值之關係.....	39
表 4-3 EKC 與人均 GDP、自主能源佔比、電力市場開放與工業電價之關係.....	42
表 5-1 泛太平洋樣本國之電力彈性估計.....	43
表 5-2 我國電力供需成長與 GDP 成長之關係.....	44
表 5-3 我國電力供給成長與 MFP 之關係.....	45
表 5-4 我國電力消費成長與 MFP 之關係.....	46
表 5-5 我國電力價格與 MFP 之關係.....	47
表 5-6 2012 年各國平均電價比較.....	52
表 6-1 樣本國中人均 GDP 與自產能源、民主程度人口密度及 EKC 之關係.....	56

圖目錄



圖 1-1 全球能源供需與人口之歷史表現.....	2
圖 1-2 國際油價走勢.....	3
圖 1-3 全球電力供給情形.....	4
圖 1-4 DDPs 參與國 2050 年電力規劃.....	4
圖 1-5 我國近年能源重大爭議.....	5
圖 1-6 核四編年簡史.....	6
圖 2-1 世界核電廠與人均 GDP 分布.....	9
圖 2-2 OECD-區域世界核電廠分布比較.....	10
圖 2-3 核燃料與其他燃料之熱值示意.....	12
圖 2-4 全球 2010 年時溫室氣體部門排放分類.....	14
圖 2-5 各類電力技術的生命週期非 CO ₂ 之空氣污染物排放.....	16
圖 3-1 基本倒 U 型 EKC.....	23
圖 3-2 各類 EKC 的變形.....	24
圖 3-3 樣本國篩選之條件.....	25
圖 3-4 18 個樣本國人均 GDP 與人均 CO ₂ 排放之關係.....	26
圖 3-5 自行計算與主計處之 MFP 成長率比較.....	28
圖 3-6 MFP 與資本、勞動成長率比較.....	28
圖 3-7 4 種 OLS 模型設計.....	29
圖 4-1 歐洲人均 GDP 超過 3 萬美金之樣本國.....	34
圖 4-2 非歐洲人均 GDP 超過 3 萬美金之樣本國.....	35

圖 4-3 人均 GDP 超過 2 萬美金少於 3 萬美金之樣本國.....	36
圖 4-4 人均 GDP 超過 1 萬美金少於 2 萬美金之樣本國.....	37
圖 4-5 泛太平洋國家之 EKC.....	40
圖 5-1 泛太平洋樣本國工業與服務業用電比.....	49
圖 5-2 我國實值 GDP、內需與淨外銷之成長率 (%).....	50
圖 5-3 我國出口產品產值之佔比.....	50



第1章 緒論



(經濟)增長是幫助社會擺脫貧困的最確定道路。很明顯，沒有增長，物質資源短缺便會主宰一切，人們的視野受到限制，把人的生命消耗在為生計的掙扎當中，從而限制了人們去發揮自身的潛能。此外，經濟繁榮會讓人有所選擇，並允許一種更加平等的分配機會的存在。

~世界銀行 (2008), 增長報告

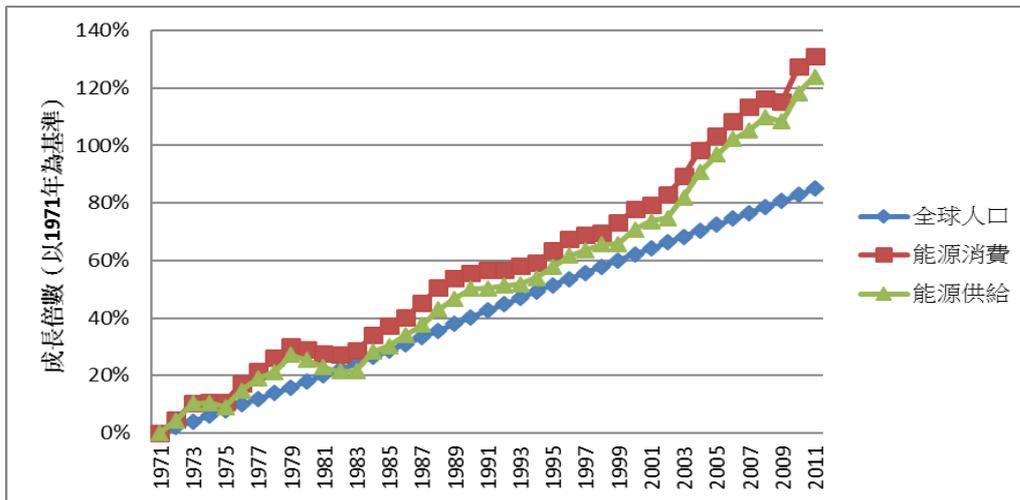
1.1 經濟與能源

長期以來，一個國家是如何走上發展之路的，始終都是經濟學界甚感興趣的議題。儘管至今說法各家莫衷一是，但無可否認的人口數量與品質、天然稟賦的多寡與文化制度的配合皆是至為重要之因素。而在各項天然稟賦中，可穩定取得 (Availability) 且價格合理 (Affordability) 的能源更是支持『工業化』能否成功與持續成長的關鍵。

然而隨著各國工業化的興起，對於地球環境的傷害亦更為顯著，除了大多數人耳熟能詳的全球暖化外，其他諸如空氣懸浮微粒、酸雨、臭氧層破洞...等等，皆與人類大規模使用化石能源有關，節制其所引發的外部性，強調能源之於環境的可接受度 (Acceptability)，業已成為未來能源開發與應用上的趨勢。

在此同時，部分國家為獲取自身最大利益，而試圖透過外力來干預能源市場的行為更是屢見不鮮。如美國與俄羅斯...等大國經常以此來操控國際情勢，引發能源突發事件進而造成國際恐慌，而從中獲利。故如何確保能源供需的無障礙性 (Accessibility Barriers) 亦是各國政府與國際社會必須正視之問題。

隨著人類生產形式改變與所得增加，如圖 1-1 所示，不僅全球能源供給/消費亦年年走高當中，在進入 21 世紀後成長率更顯著高於人口成長一倍有餘 (2001~2011 年均人口成長為 1.20%，能源消費/供給年均成長分別為 2.56%、2.58%)。其正是呼應近期中國、印度、巴西...等這些人口眾多的新興市場蓬勃發展追求成長、亟欲走出貧窮的努力。



資料來源：IEA

圖 1-1 全球能源供需與人口之歷史表現

而在持續且大量的能源投入後，十分顯著的擴張了各國工業化、電氣化與城市化的程度。根據聯合國的統計，在 2010 年時已使得部分發展國家，日均所得低於 1.25 美元的人口比例從 1990 年的 47% 降至 2010 年的 22%；生活在極端貧困環境下的人數亦比 1990 年減少了約 7 億（聯合國，2014）。但其代價所費不貲，如圖 1-2，這十數年間，光是油價就由 2000 年的 USD33.55/桶一路漲到 2013 年的 USD108.66/桶(BP,2014)，亦帶動其他化石燃料及相關原物料全面性的漲幅。

亦如 1970~80 年代石油危機時一般，隨著能源價格的走高，各類替代能源開始被逐次的投入市場，當年更因而促成了大型核能發電技術的實踐與商業化。1988 年後，先進國家開始關注全球溫室氣體（Greenhouse Gas, GHG）排放管制，並陸續簽訂了國際氣候公約（1994 年）與京都議定書（2005 年），更加大了全球對於低碳/零碳能源需求的力度。但與過去不同的，在經過了 20~30 年的技術演進後，諸如太陽光電、風力發電與生質能等再生能源皆已非過去的吳下阿蒙，藉由政府的強力補貼，大規模商用設施比比皆是；反觀核能在經歷 1986 車諾比、2011 福島等嚴重事故後，已使公眾信心大失，進而導致各國對於未來替代能源選擇是否該包含核電產生了極大的分歧與爭議。

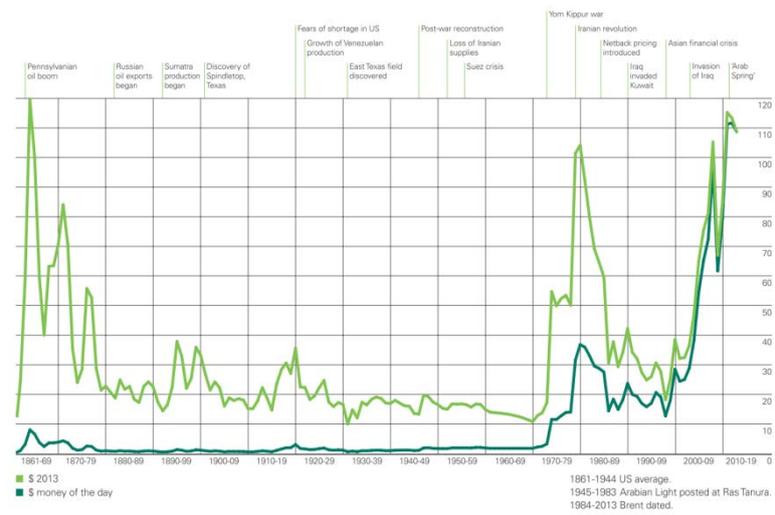


圖 1-2 國際油價走勢

然而當我們把遮蔽於眼前的紛擾與個人的好惡暫時拋開後，就各國電力結構配設的角度，核能對於多數人口眾多且天然能資源有限、而持續追求高度成長的國家，存在著難以抗拒的吸引力，事實上，人們從未真正放棄對於核能的依賴（如圖 1-3）。而隨著越來越多的國家日漸富裕起來，核能電廠的建造計畫與新建工程正快速累積當中。核能在電力結構中的角色，也從過去擔任分攤國際能源價格風險的能源安全基石，更衍生成為應付全球暖化與氣候變遷的關鍵選項。在聯合國最新出版的深度減碳路徑圖（Deep Decarbonization Pathways, DDPs, 2014）中，即顯示 15 個計畫參與國裡，在面對嚴峻的氣候變遷與溫室氣體減量問題上，有 13 個國家在 2050 年時仍舊保留了核能的使用（如圖 1-4）。

倘若核電真如上述所提及的如此重要，那又為何受到民眾的排斥？尤其是在是工業最發達與民主政治已然成熟的歐、美國家。為何義大利、比利時、德國等國可以相繼提出非核主張？它們所持的理由是否充分？技術是否可行？所要付出的代價又是多少？類似的政策在當下的台灣是否也可沿用？

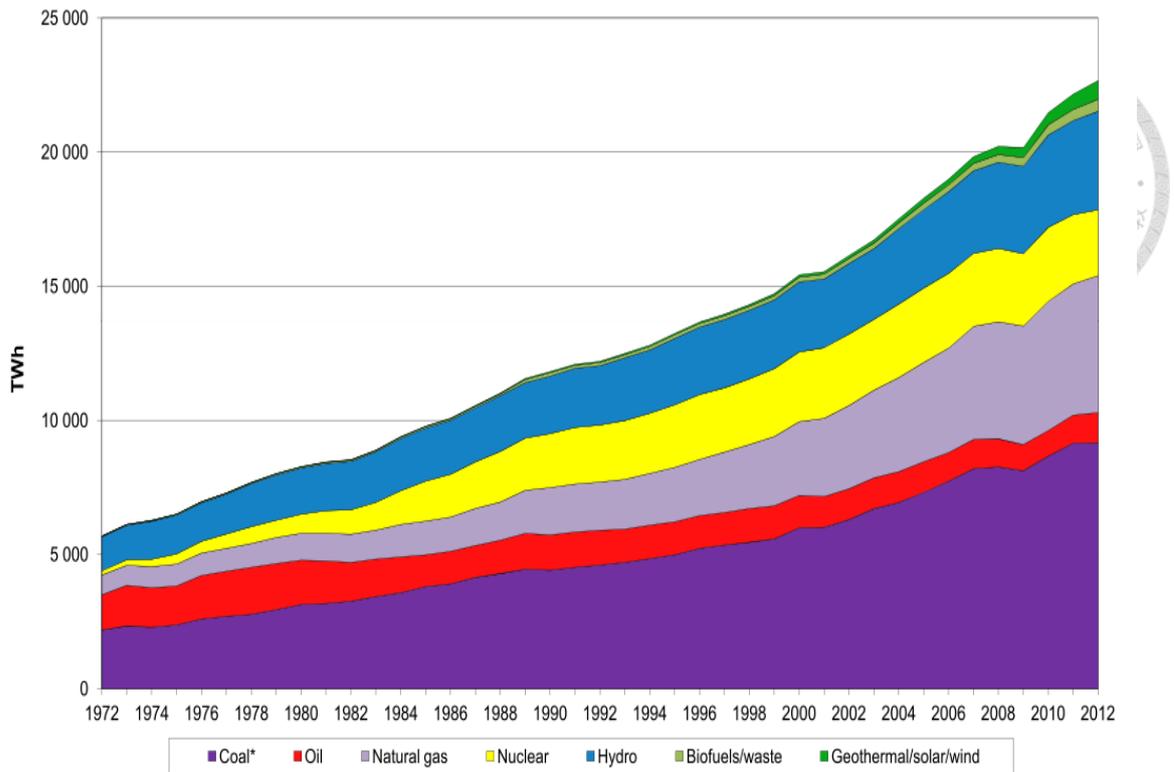


圖 1-3 全球電力供給情形¹

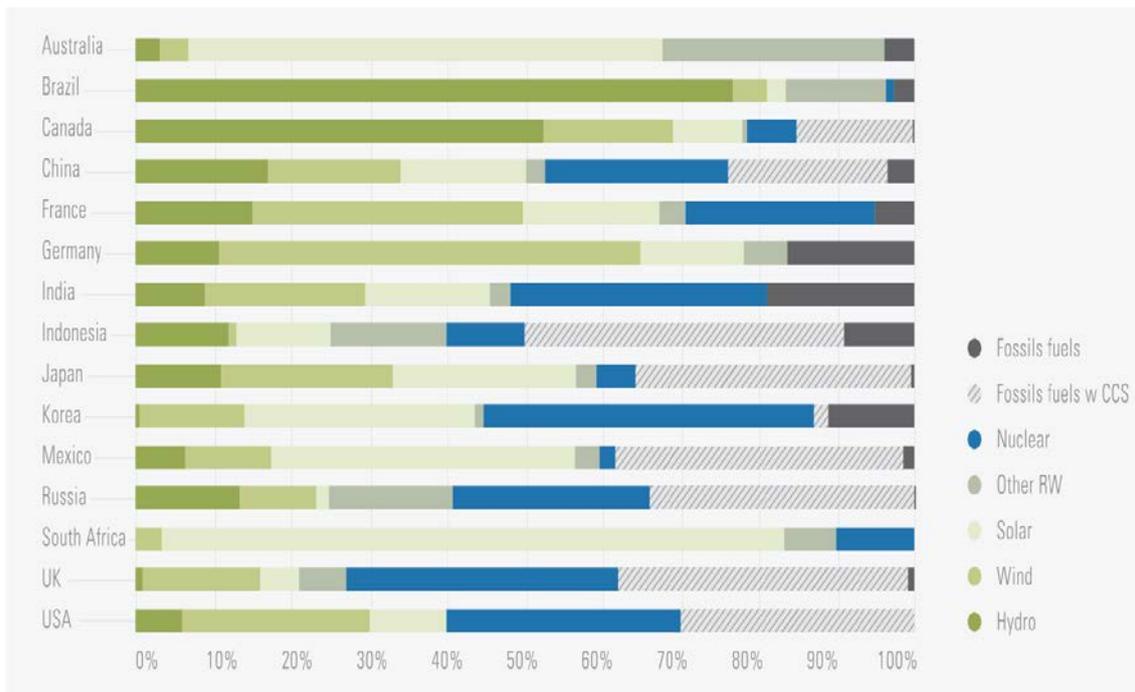
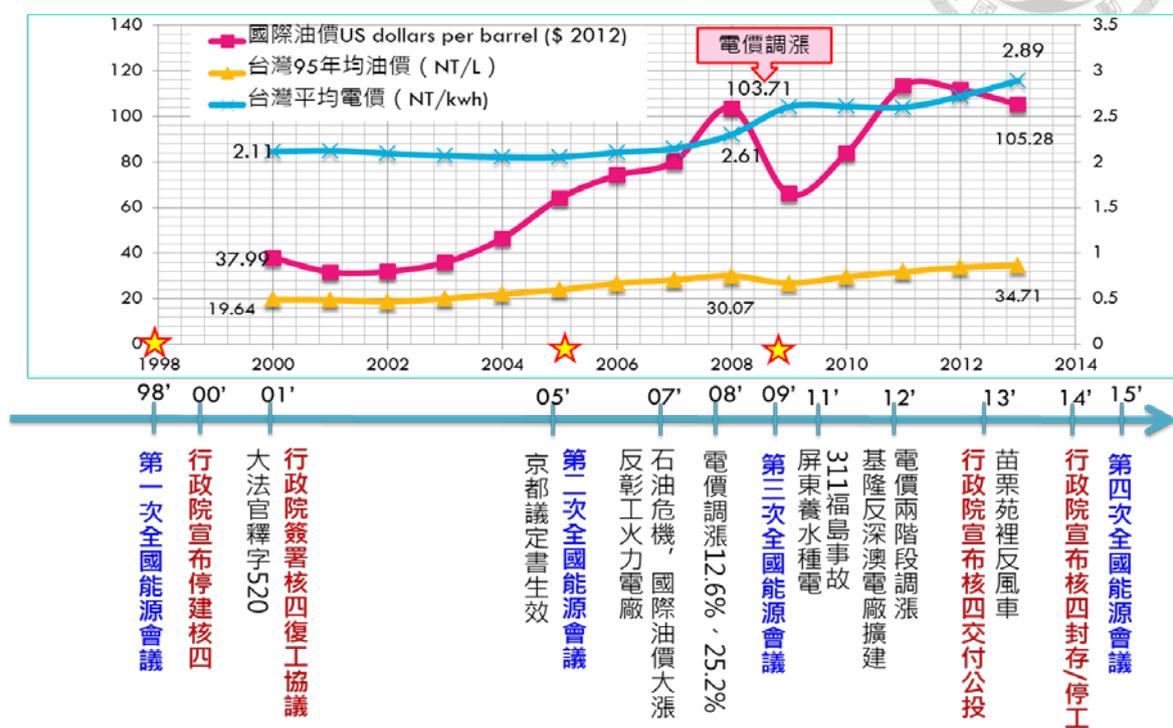


圖 1-4 DDPs 參與國 2050 年電力規劃

¹ IEA(2014/9), http://www.iea.org/country/map_indicators/index.html



1.2 研究背景與動機



圖表繪製：核能研究所

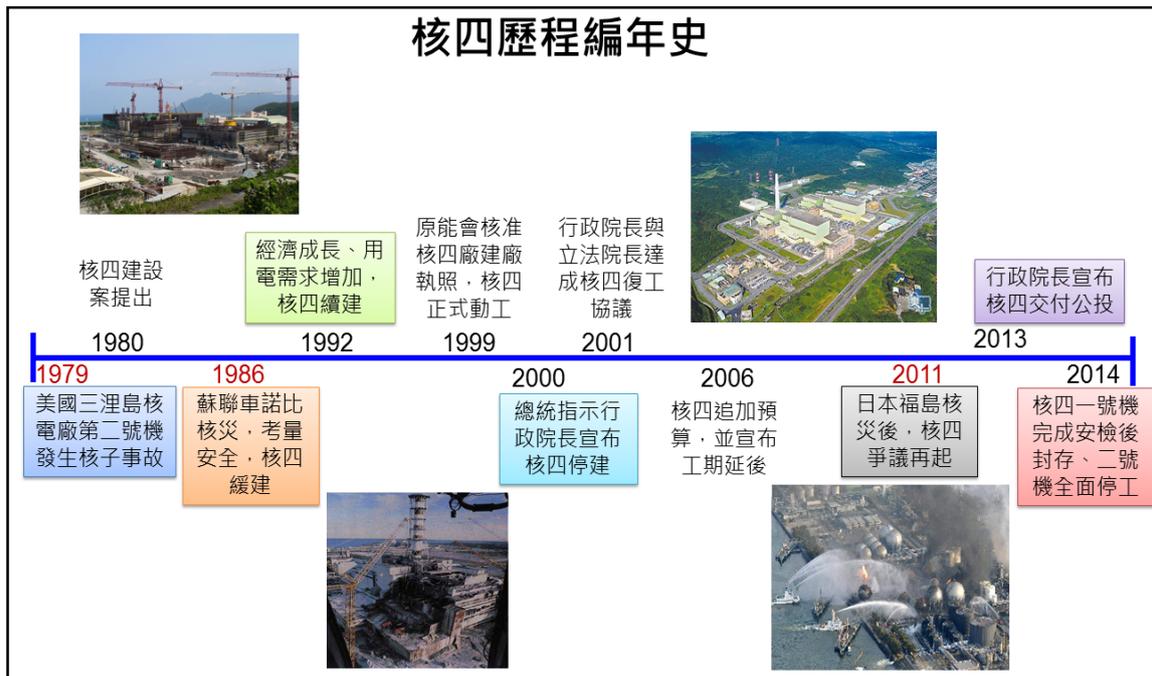
圖 1-5 我國近年能源重大爭議

反觀國內，如圖 1-5 所示，隨著國際能源價格持續走高與民眾環保意識的抬頭，台灣近年來經歷了一系列電源開發上的衝突。面對爭議，各界總易把問題簡單化、離散化，而花費大量時間在個案國家特定事件、短期技術策略或引證數據來源對錯的爭論上。但這種作法不僅不能真正解決問題，反而更加劇了正反兩方的對立，也讓多數民眾無所適從。

而如圖 1-6，經過多年的紛紛擾擾龍門電廠（核四廠）終究還是走上了封存/停工一途。儘管關於核電爭議所引發的政治壓力短期內似乎得到了些疏解，但其後續種種經濟效應才正要逐步釋放開來。諸如現有核電廠延役、限電危機、備轉容量需求、電網調度限制、電價調整、火力電廠設置、化石燃料採購、CO2 排放、與再生能源開發...等等，部分是當下的衝擊，更多的則是對我國中、長期能源規劃與經濟發展造成深遠且重大之影響。

由於能源規劃影響深遠且背後牽涉利益龐大，這其中核電更是各類能源裡褒貶好惡反差最大的一種，從而引發社會各界紛擾不斷。本研究認為各方實應重新聚焦到從整體經濟發展的路徑上，先以釐清核能存在的定位與價值，再由各類能源技術中尋求符合我國國情的可能替代品，或而肯認核能仍是現階段我國能源結構中不得不的選項。

圖 1-6 核四編年簡史



資料來源：核能研究所整理

1.3 本文架構

本研究即是運用敘述統計、環境庫茲奈模型 (Environmental Kuznets Curve, EKC) 探討核能對於高收入國家之重要性，並結合多因素生產力分析 (Multifactor Productivity, MFP) 與普通最小平方法 (Ordinary Least Squares OLS)，針對我國國情分析電力供需對經濟發展的影響。分述如下：

- 第 1 章介紹研究背景與動機。
- 第 2 章說明核電之特性與爭議。
- 第 3 章說明所使用的研究變數與方法。
- 第 4 章 EKC 的結果分析。
- 第 5 章電力供需的分析。
- 第 6 章提出研究結論與建議。

第2章 文獻探討與回顧



曾有人說：『人類經濟的發展其實就是一部能源型態的演進史。』從最早期的人力之於漁獵、獸力之於農耕、化石燃料之於工業，直到今日電力之於資訊時代。越來越高品質且大量的能源需求，正是支撐人類文明持續向前最根本的基石。而在所有電力的種類裡，大概再也沒有一種來源如核電一般如此神秘且讓人畏懼了。超鉅量級能源卻伴隨著對於戰爭的圖像與死亡的想像，從 1945 年原子彈爆炸儘管已經歷了 70 年的時光，『核能民用化』在大多數民眾聽來依然有些刺耳。

2.1 核電現況與經濟發展

根據國際原能署（International Atomic Energy Agency，IAEA）截至 2013 年 12/31 的各國核電廠現況統計，全球現役的核電機組共有 440 部（含台灣的 6 部）；並有 74 部（含台灣 2 部）機組正在建造當中²，以此初估未來應有 448.7GW 的裝置容量可被用以提供全球 33 個國家電力部分所需。另特別需要注意的是，在所有正在興建核電廠的國家中，主要集中於金磚四國的中、俄與印，同時韓國與美國亦在其列，這些國家皆是近期經濟前景最被看好的一群；其中俄羅斯、美國、中國、印度及沙烏地阿拉伯更是世界化石燃料重要蘊藏國，巴西則是發展生質能源的國際典範，但這些國家卻又不約而同的選擇了繼續使用核電，而與主要倡議減核的西歐國家有相當不一樣之思維。

若將世界人均 GDP 與核電廠分布做一對照，圖 2-1，不難發現在人均 GDP 超過三萬美金的主要國家裡，除了澳洲無核電廠外（但出口可作為核燃料棒的鈾礦），幾乎都是核電廠設置相對密集的区域。再比較各區域 OECD 國家之表現可發覺如圖 2-2，OECD-歐洲 2011 年時總計以 131GW 的核電裝置容量而居冠³，而在人均核電用量、人均核裝置量方面分別位居第二與第三位⁴，概觀而言，似乎 OECD-歐

² IAEA (2014), IAEA ANNUAL REPORT 2013

³ IEA (2013), World Energy Outlook

⁴ IEA, http://www.iea.org/country/map_indicators/index.html

洲對於核電的依賴程度並不如各國政府宣稱的那樣容易獲得解決。

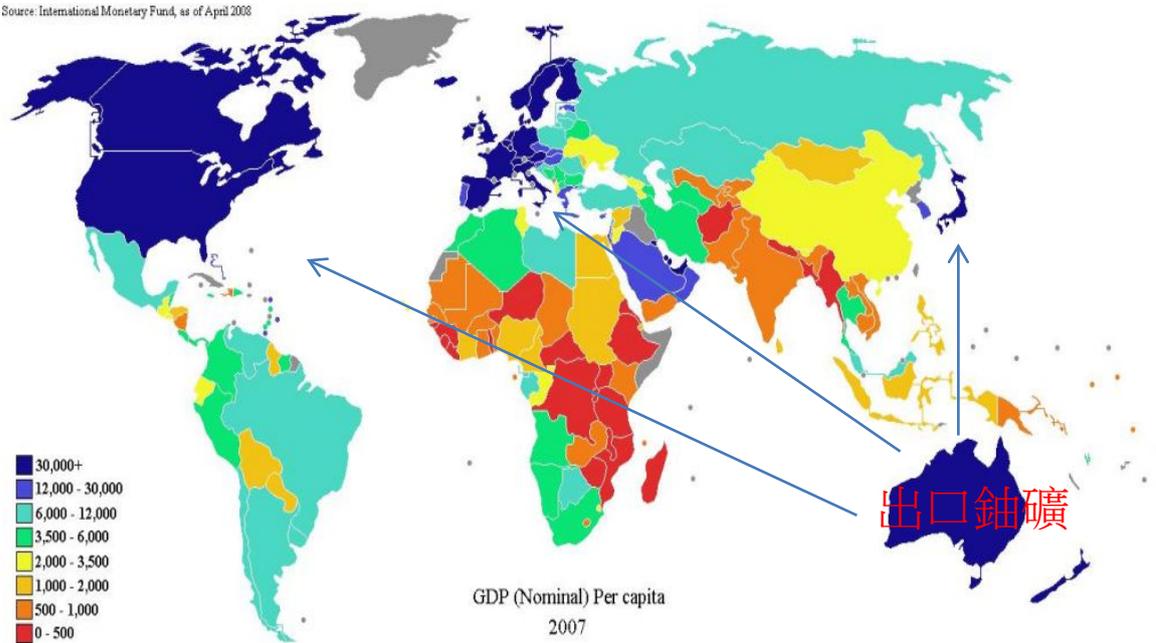
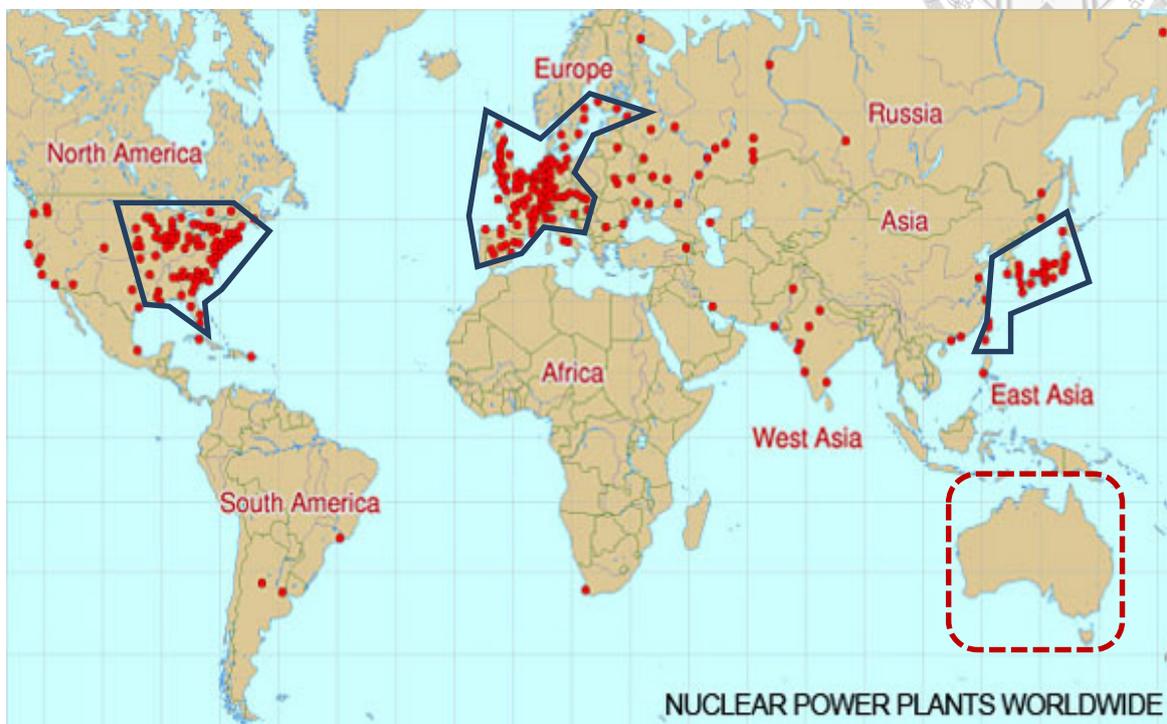
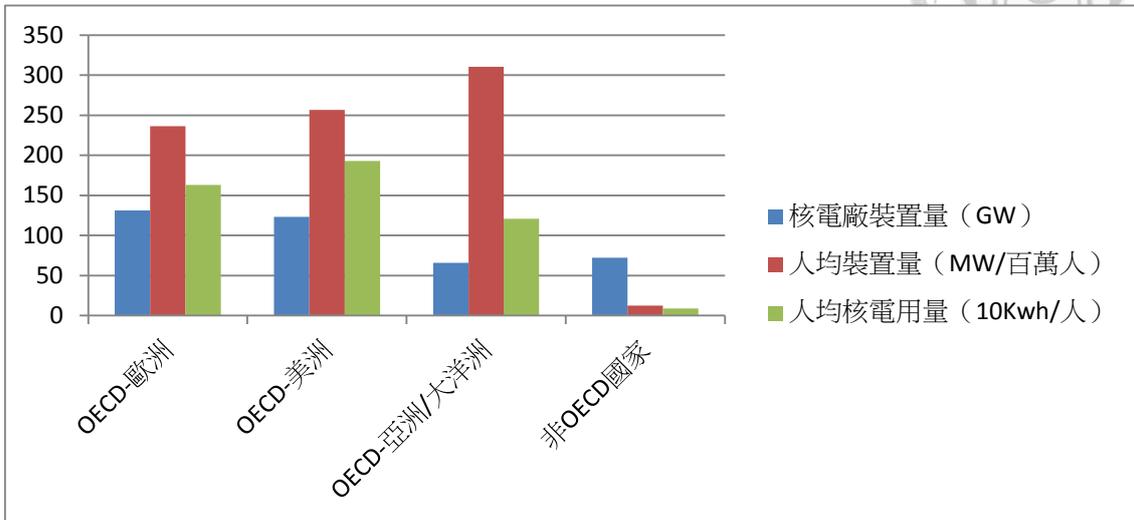


圖 2-1 世界核電廠與人均 GDP 分布



資料來源：IEA

圖 2-2 OECD-區域世界核電廠分布比較

更有甚者，為了抑低因 GHG 排放所造成的氣候變遷強度，部分國家在國力允許的範圍下，亦開始重新思考核能在自身能源結構中可扮演的角色。如下表 2-1 所示，既使在 2011 年發生福島核事故後，除原有的 31 個核電國家外，另外尚有 18 個國家陸續表達興建核電廠的計畫。其中最值得注意的是，傳統上的化石燃料輸出國，如沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國、波蘭、印尼及馬來西亞等，都有意加入核電國家的行列。英國政府則是透過公民諮議的程序，在 2008 年能源白皮書中即明確表達核能作為國家減碳的必要性，並於 2013 年底正式核准兩部新機組興建工程；中國政府亦基於降低空氣污染與 GHG 排放量的理由，大量興建核電廠以做為取代高排放、高污染的燃煤電廠且維持經濟發展動力之關鍵。



表 2-1 現有與規劃中之核能使用國

分 類	說 明	國 名	數 目
使用核電國家	使用核電，並有核能機組增建或計畫建造中	阿根廷、保加利亞、巴西、中國大陸、芬蘭、法國、美國、英國、印度、伊朗、日本、南韓、巴基斯坦、斯洛伐克、俄羅斯、烏克蘭、台灣	17
	使用核電，但目前無核能機組增建或計畫建造中	亞美尼亞、加拿大、捷克、匈牙利、墨西哥、荷蘭、羅馬尼亞、瑞典、西班牙、斯洛維尼亞、南非	11
	使用核電，但明定廢核時程	德國、瑞士、比利時	3
未使用核電，但計畫興建核能機組之國家		孟加拉、白俄羅斯、智利、埃及、印尼、以色列、約旦、義大利、哈薩克斯坦、北韓、立陶宛、馬來西亞、波蘭、沙烏地阿拉伯、泰國、越南、阿拉伯聯合大公國、土耳其	18
未使用核電之國家		澳洲、紐西蘭及大部分亞洲、非洲、拉丁美洲及大洋洲等國家	

資料來源：經濟部（103），核能議題問答集

備註

1. 德國、瑞士、比利時：均擁有核能電廠，但明確宣示廢核期程，其中比利時於法條中保留檢討修正政策的彈性。
2. 日本：擁有核能電廠，因福島事件而宣布將全面廢核，但在經歷 2013 年 Q4~2014 年 Q3 約一年的零核後，最快將於 2014 年 Q4 重新啟動境內通過新安全標準的核電廠。
3. 義大利：2010 年時曾提議於 2030 年之前興建 10 座核電機組，但該計畫於 2011 年 6 月公投被否決。



2.2 核電與能源安全

無論在台灣或是世界其他國家，核能議題所以受到如此關注，其最核心的關鍵即在於免於恐懼（核能安全/身家性命）與免於匱乏（能源安全/經濟發展）間的抉擇。若是再加上核能資訊的封閉性與複雜度，更阻礙了民眾企圖一窺核電技術原委的可能，而因資訊不對稱所產生的恐懼則加深了潛意識中對於核電業者的不信任及相關政策的排斥。

無可否認的，就核能安全來說，至今尚無任何其他一種能源的廠外事故（"Outside the Fence" of Plant Accident）波及範圍如車諾比及福島事件一般廣大；亦無其他能源使用後的廢棄物需像核燃料一樣被妥善保存至數萬年的時間；若再考慮輻射線無色無味卻又有致死可能等特性。實際上要嚴謹的告訴民眾說核能使用是完全零風險（風險價值＝機率×損失），這絕對是極不負責任的說法。

但同樣讓人驚訝的事，如下圖 2-3 所示，一顆鈾燃料丸即能產生約 2,000 度（kWh）的電力，此相當於 1 噸燃煤的能量⁵；且若是法律允許，相同的燃料丸經過再循環（MOX）的處理後，甚至可以被重複使用達 20 次以上。

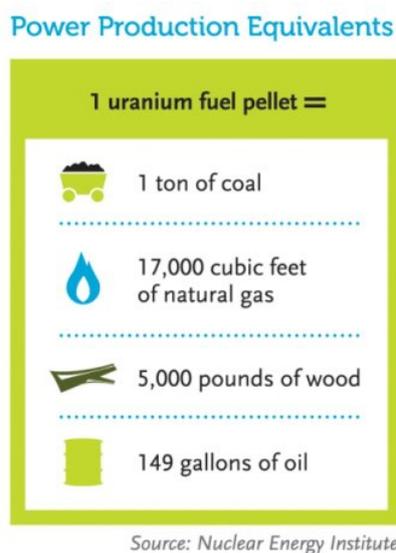


圖 2-3 核燃料與其他燃料之熱值示意

⁵燃料丸：圓柱形，長度（高度）約 1 公分，直徑約 0.9 公分。



核燃料除具有極高的能量密度(能源/體積)外，在能源安全上的優勢尚包含：

- (1) 每次核燃料填裝平均間隔達 18 個月
- (2) 在不開封情況下未使用的核燃料棒保存期限有 3~5 年
- (3) 目前仍有大量冷戰時期遺留下來的核彈頭可陸續被轉成民用核燃料

由於具有以上特性，核燃料供給幾乎不受到國際化石能源價格的影響，故在隸屬聯合國的國際能源署 (International Energy Agency, IEA) 統計定義上，則是將核電視為國家的自產能源，其不僅可增加調度上的自由度同時也能用以吸收部分國際能源價格波動所造成的經濟衝擊。

2.3 核電與環境保育

在實證經驗中，一國經濟的發展必然伴隨著能源服務需求及初級能源耗用量的增加、能源形式的轉變(電氣化程度)。尤其是在經歷工業初期發展的階段，更會有諸如人口、人造資本、城市化、化石燃料需求...甚或環境污染等重要指標顯著增加的現象。而隨著越來越多的國家藉由工業化過程走出了貧窮，人類對能資源的需求與自然環境破壞亦更行明顯。這之間又以因化石燃料使用後的溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG) 排放，所造成的全球氣候變遷影響最為嚴重。

根據聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013~2014 年間最新版的第五次評估報告 (AR5 The Physical Science Basis) 中明確指出：『二氧化碳、甲烷和氧化亞氮的大氣濃度至少已上升到過去 80 萬年以來前所未有的水平。自工業化以來，二氧化碳濃度已增加了 40%，這首先是由於化石燃料的排放，其次則是由於土地利用變化導致的淨排放所造成』。AR5 針對未來不同 CO₂ 累積排放下溫升情境所做的預測：未來 100 年內地表平均溫度將會上升 0.3~4.8°C、平均海平面則上升 0.6~0.82 公尺。

進一步探討 GHG 排放的結構可發覺，為因應全球持續的工業化發展，全球能源部門(電與熱)及工業部門兩者所排放之 GHG 已近總量的 5 成(如圖 2-4)。若聚焦於因能源使用所造成的 CO₂ 排放，上述兩部門排放總佔比則達到 65%。根據國際能源署 WEO 2013 (IEA, 2013) 年的評估：『綜合考量了各國政府公佈的提高能源效率、支持可再生能源、減少化石能源補貼、在某些情況下推出了碳交易價

格等措施後，該報告的核心情景認為，到 2035 年，與能源相關的二氧化碳排放仍將上升 20%，從而使世界仍處於長期平均氣溫上升 3.6 攝氏度的趨勢下，遠高於國際上普遍接受的 2 度溫升目標』。在此同時，各國政府還必須面對越漸緊張的能源供需及其所引發的環境衝擊皆對各國經濟永續發展形成了莫大壓力。換言之，因為化石能源使用所導致的外部性亦已開始侵蝕人類世界得來不易的經濟成就。

Greenhouse Gas Emissions by Economic Sectors

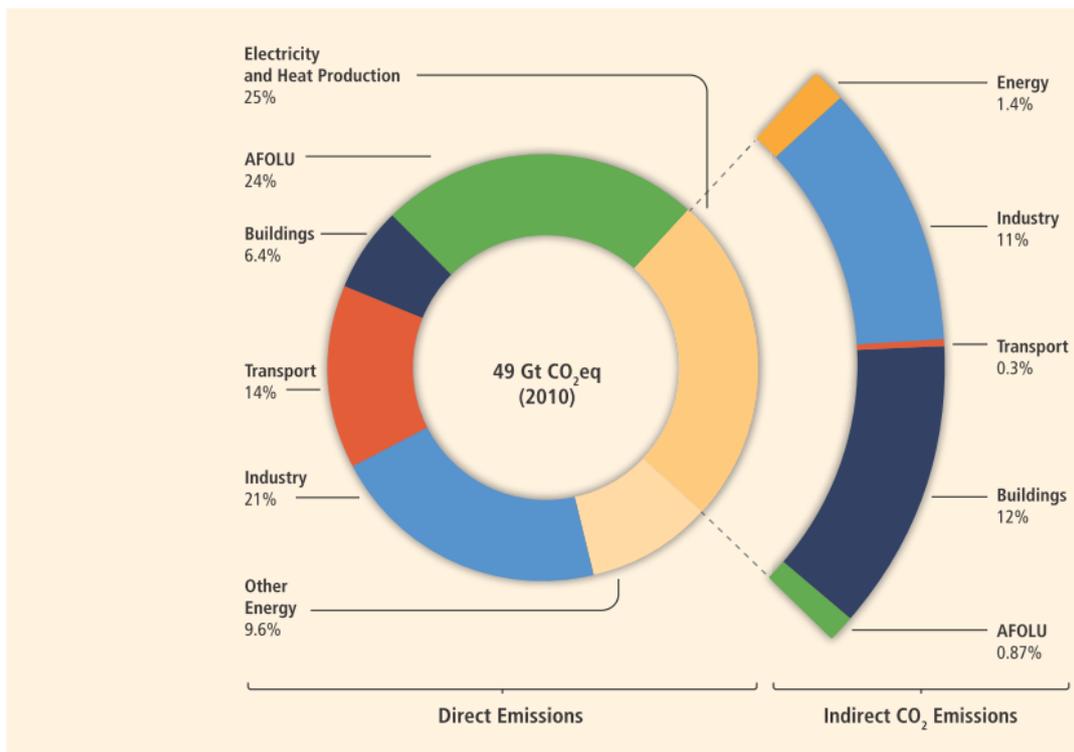


圖 2-4 全球 2010 年時溫室氣體部門排放分類

面對日漸失控的全球暖化與新興經濟體的大量能源需求，在本次 IPCC 的報告裡，迥異於先前的曖昧，直接點名了核能為低碳能源及在抑制 CO₂ 排放上的重要性：『At the global level, scenarios reaching 450 ppm CO₂ eq are also characterized by more rapid improvements of energy efficiency, a tripling to nearly a quadrupling of the share of zero- and low-carbon energy supply from renewables, nuclear energy and fossil energy with carbon dioxide capture and storage (CCS), or bioenergy with CCS (BECCS) by the year 2050.』，其所述的各類技術在不同情境下機會成本比較如表 2-2：

表 2-2 類能源技術於的減碳機會成本分析



2100 Concentration (ppm CO ₂ eq)	Consumption losses in cost-effective scenarios ¹				Increase in total discounted mitigation costs in scenarios with limited availability of technologies				Increase in medium- and long-term mitigation costs due to delayed additional mitigation until 2030			
	[% reduction in consumption relative to baseline]			[percentage point reduction in annualized consumption growth rate]	[% increase in total discounted mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions]				[% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation]			
	2030	2050	2100		No CCS	Nuclear phase out	Limited Solar/Wind	Limited Bioenergy	≤55 GtCO ₂ eq		>55 GtCO ₂ eq	
								2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100	
450 (430–480)	1.7 (1.0–3.7) [N: 14]	3.4 (2.1–6.2)	4.8 (2.9–11.4)	0.06 (0.04–0.14)	138 (29–297) [N: 4]	7 (4–18) [N: 8]	6 (2–29) [N: 8]	64 (44–78) [N: 8]	28 (14–50) [N: 34]	15 (5–59)	44 (2–78) [N: 29]	37 (16–82)
500 (480–530)	1.7 (0.6–2.1) [N: 32]	2.7 (1.5–4.2)	4.7 (2.4–10.6)	0.06 (0.03–0.13)								
550 (530–580)	0.6 (0.2–1.3) [N: 46]	1.7 (1.2–3.3)	3.8 (1.2–7.3)	0.04 (0.01–0.09)	39 (18–78) [N: 11]	13 (2–23) [N: 10]	8 (5–15) [N: 10]	18 (4–66) [N: 12]	3 (–5–16) [N: 14]	4 (–4–11)	15 (3–32) [N: 10]	16 (5–24)
580–650	0.3 (0–0.9) [N: 16]	1.3 (0.5–2.0)	2.3 (1.2–4.4)	0.03 (0.01–0.05)								

除了抑制 CO₂ 排放外，核能在抑制全球電廠生命週期的空氣污染上亦有相當的貢獻⁶(表 2-3、圖 2-5)，在 GHG 排放與水力、風電同級，僅有太陽光電的 1/2~1/3，在各類空氣污染物方面，更遠低於其他類型的電廠。

表 2-3 各類電力技術的生命週期 CO₂ 排放

Table A.III.2. Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂eq/kWh)¹

Options	Direct emissions	Infrastructure & supply chain emissions	Biogenic CO ₂ emissions and albedo effect	Methane emissions	Lifecycle emissions (incl. albedo effect)
	Min / Median / Max	Typical values			Min / Median / Max
Currently Commercially Available Technologies					
Coal – PC	670 / 760 / 870	9.6	0	47	740 / 820 / 910
Gas – Combined Cycle	350 / 370 / 490	1.6	0	91	410 / 490 / 650
Biomass – cofiring	n.a. ^a	-	-	-	620 / 740 / 890 ^a
Biomass – dedicated	n.a. ^a	210	27	0	130 / 230 / 420 ^a
Geothermal	0	45	0	0	6.0 / 38 / 79
Hydropower	0	19	0	88	1.0 / 24 / 2200
Nuclear	0	18	0	0	3.7 / 12 / 110
Concentrated Solar Power	0	29	0	0	8.8 / 27 / 63
Solar PV – rooftop	0	42	0	0	26 / 41 / 60
Solar PV – utility	0	66	0	0	18 / 48 / 180
Wind onshore	0	15	0	0	7.0 / 11 / 56
Wind offshore	0	17	0	0	8.0 / 12 / 35
Pre-commercial Technologies					
CCS – Coal – Oxyfuel	14 / 76 / 110	17	0	67	100 / 160 / 200
CCS – Coal – PC	95 / 120 / 140	28	0	68	190 / 220 / 250
CCS – Coal – IGCC	100 / 120 / 150	9.9	0	62	170 / 200 / 230
CCS – Gas – Combined Cycle	30 / 57 / 98	8.9	0	110	94 / 170 / 340
Ocean	0	17	0	0	5.6 / 17 / 28

⁶ 電廠生命週期：一個電廠由興建至拆除殆淨，包涵施工、運轉、燃料開採、原物料運輸、後端處理等，所有過程中的特定要素的追蹤總計。

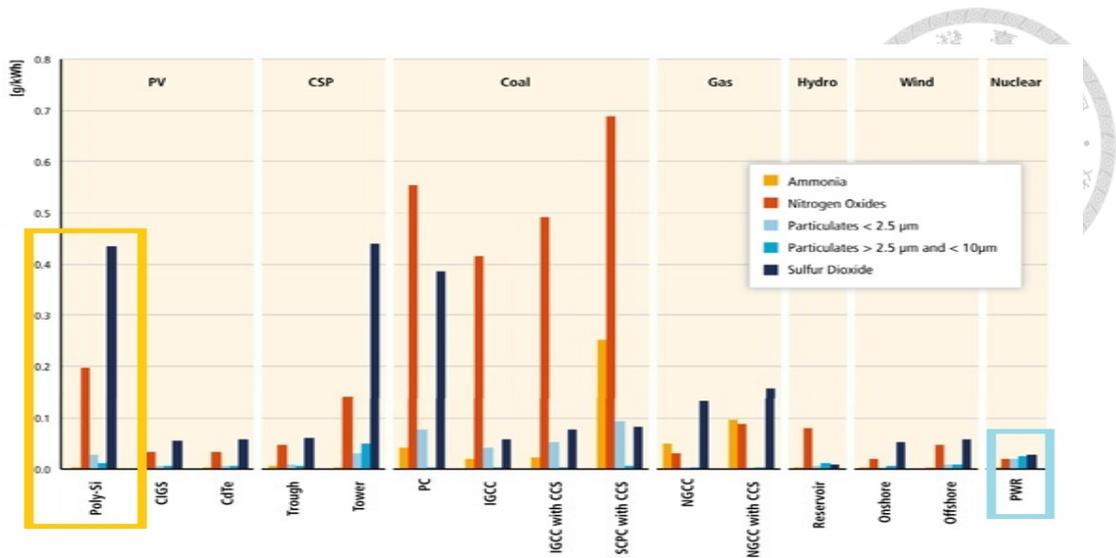


圖 2-5 各類電力技術的生命週期非 CO2 之空氣污染物排放

故可知，在正常操作下的核電廠，其實對於環境十分友善的，既使有上萬年的高階核廢料必須封存處理。但以台灣為例，根據日本原燃株式會社專務田中治邦的估算，台灣核一二三廠再加上核四共 8 部核機組 40 年間高階核廢料約須四個大安森林公園面積（1 km²）的處置場即可儲存⁷。

在 NASA 科學家 Pushker A. Kharecha 與 James E. Hansen 的研究中指出：從 1971~2009 年之間，全球核電已阻止 184 萬人因空氣污染而死亡和 64 億噸 CO₂e 因化石燃料的燃燒所導致的溫室氣體（GHG）排放。世界衛生組織 1997 年即提出警告：因為燃燒衍生的空氣污染，造成全球每年 300 萬人死亡，致病者不計其數。而電力部門消耗了全球 43% 左右的化石燃料，以此推論，全球每年有 1,300,000 人死於火力發電的空浮微粒污染。

而針對二次重大核事故的民眾健康追蹤中則發現：

UNSCEAR(2011)於正式報告中指出：針對 1986 年車諾比事故後續影響，在經過長期的追蹤，觀測人群也由 500 萬人升至為 1 億人，既使是在三個受輻射影響最大的地區，該劑量的輻射對公眾的傷害仍是輕微的，當地居民大可不必為了健康受損而惶恐不安。在當時兒童和青少年遭受輻射後，這些人中甲狀腺癌發病率增多，這是唯一確定民眾因遭到輻射而致病的病症。1991 至 2005 年間，在俄羅斯聯邦內

⁷日本核電再出發論壇（2014/4/27）

受輻射影響最大的白俄羅斯、烏克蘭等四個地區，有超過 6000 例癌發病例，經證實其中的 15 個病例為極嚴重病例，其餘但大多數人都已獲得了治療與控制。

世界衛生組織(WHO,2013)與聯合國原子輻射科學委員會(UNSCEAR,2012)等官方報告均證實福島事故不會影響民眾健康。其重要結論，除福島縣影響最大的浪江町及飯館村兩區域外，其他地區沒有觀察到罹癌風險的增加；沒有公眾因輻射因素死亡，也不會影響胚胎發育及妊娠；福島縣居民的輻射劑量，不足以影響胎兒發展，也不會導致流產，或增加先天性缺陷及認知功能障礙的風險；日本其它地區民眾額外罹癌風險與自然罹癌風險(Lifetime Baseline Risk)相較微不足道，也不會增加日本以外地區民眾健康風險。

表 2-4 我國近期能源政策之演進

	永續能源政策綱領 (2008)	新能源政策 (2011)	能源發展綱領 (2012)	核四封存 / 停工 (2014)
政策 目標	1.提高能源效率 2.發展潔淨能源 3.確保能源供應穩定	1.確保核安 2.穩健減核 3.打造綠能低碳環境 4.逐步邁向非核家園	1.安全：可負擔、低風險之能源供需體系 2.效率：降低能源密集度 3.潔淨：降低碳排放密集度	回應社會反核聲浪，行政院宣布 核四封存 / 停工 ，商轉則由公投決定
政策 內容	1.淨源 2.節流 3.建立法規基礎與相關配套機制	1.確保不限電 2.維持合理電價 3.達成國際減碳承諾	1.需求端：總量管理與提升能源效率 2.供給端：多元來源與優化能源結構 3.系統端：均衡供需規劃促進整體效能	1.核四一號機不施工，只安檢，安檢後封存，二號機全部停工 2.儘速召開全國能源會議，以確保未來供電無虞 3.限電順序：民生用戶→工業用戶。
核電 角色	視核電為 無碳能源 選項，既有三座核電廠，繼續興建核四廠。	後福島，能源政策轉向。既有核電廠 不延役 ，核四以安全前提商轉。	2013年2月宣布安檢完成後，由「 核四公投 」決定核四是否商轉。	預計 明年召開全國能源會議 ，可能討論氣候變遷因應、電力供需及電價等議題(規劃中)。
核電 機組	既有6部、興建2部、考慮延役及新增	既有6部、按時除役、同左興建2部	同左	既有6部按時除役? 核四封存 / 停工

兩大量化指標 (**迄今未變**)：(1) 能源密集度於 2015 年能較 2005 年下降 20% 以上；2025 年下降 50% 以上；(2) 二氧化碳排放於 2020 年回到 2005 年排放量；2025 年回到 2000 年排放量。

資料整理：核研所

回到國內，近幾年來政府積極推動節能減碳行動，並訂定了一系列的政策作為指導方針。然而受制於民眾對於核安有所疑慮，則不敢明確表達對於核電的支持，進而更是逐期縮小核電計畫，但另一方面，政府的減碳計畫目標卻始終如一(如上表 2-4)。這種昧於現實的規劃，最終不但無法達成原定目標，更糟的是，過程中會浪費大量的稀有資源與機會成本，對於台灣這種資源極其有限且尚在高度發展中的國家，絕非適時適切的良策。



2.4 核電替代成本估算

為實踐政府『非核家園』的承諾與弭平近期核電造成的社會紛擾，政府提出了『千架風機』與『百萬陽光屋頂』的再生能源政策，並希望在 2030 年前能夠實現。以下即針對台灣短、中期內，以太陽光電與離岸風電取代核電的經濟及技術可行性，就(1)用地取得、(2)電網調度及(3)整體成本效益提出諸點分析。

1. 用地取得

目前世界各國在再生能源發展上，皆是以積極投入風電與太陽光電為重點，而參考 2013 年能源局公布的實績資料如表 2-5 估算，未來我國若欲以風電或太陽光電取代核一廠至核四廠(合計年發電量 635 億度)，預估共需 1.8~4.2 個台北市大小的土地面積。然考慮到我國地狹人稠的特性，且由於目前陸域風場已趨於飽和，可預期的未來風場開發將會以離岸風場為主。但短期內要將數千支離岸風機部署於海面，尚有航道安全、漁業生態、海事工程及後續維修等方面的困難需要克服。當下太陽光電廠的開發，其實即反映出基於土地機會成本的考量，未來要能大規模且長期取得空地使用權確屬不易，故現行政策以鼓勵先屋頂後地面的方式裝設。但若想完全取代核電，屋頂的面積並不足夠，未來仍必須取得其他形式的大面積用地。

表 2-5 核電與離岸風電、太陽光電土地使用比較

	核能發電	離岸風電	太陽光電
2013 年既有裝置容量(MW)	5144	614 (陸域)	392
2013 年發電量(億度)	416.4	16.4 (陸域)	3.4
未來取代核能預估裝置量(MW)	7,844	18120	48,319
	8 部機組	3,624 支(5MW)	1,611 萬個屋頂 8
理想容量因子(%)	92.4 (2013 實機)	40	15
單位面積裝置量(MW/km ¹)	604	16	100
年發 635 億度電所需面積(km ¹)	13 (0.05 個台北市)	1,151 (4.2 個台北市)	483 (1.8 個台北市)

圖表繪製：核研所

備註 1: 假設 1 個屋頂所占面積為 30 m²(資料來源: 兩岸再生能源領域發展與合作-台灣觀點, 工研院綠能所 胡耀祖, 2013)

備註 2: 根據千架海陸風力機-風力資訊整合平台的內容, 風機與盛行風垂直方向之風力發電機間距離約為 3~5 倍葉輪直徑, 平行於盛行風風向之風力發電機排距約為 4~6 倍葉輪直徑, 本文取其中間值[4 倍葉輪直徑(垂直盛行風) × 5 倍葉輪直徑(平行盛行風)]估算風力機所需佔地面積

資料來源: 能源局-能源統計手冊 2013, NREL-5MW 風力機, 千架海陸風力機-風力資訊整合平台, 核能研究所太陽能專案, 台灣電力公司, 中華民國統計資訊網。

台灣屋頂估計約 800 萬戶, 可用於太陽光電的估計約 400 萬戶, 遠低於所需屋頂數量。



2. 電網調度

我國風力資源與太陽光電資源分佈並不平均，雖可透過各類先進技術的引進加以改善，但所費不貲且力有未逮。就風電而言，陸域風場開發已近飽和，故後續將以積極推動離岸風電為主。但為有效處理離岸風機全負載時的電力，屆時大規模海底電纜與海上變電站的投資在所難免，若電網鋪設不及，將會造成電力無法併網，此亦為目前德國風力發展受阻的主因。而在太陽光電方面，由於南部太陽光電發電效益較高（南部全年平均每日有效日照數可達 4 小時、北部為 2.5 小時），故太陽光電發電大多建於南部，惟台灣主要缺電位於北部，屆時不僅加大了南北供電的失衡，亦須增設更多跨區的中、長程輸電網絡。就以目前台電為滿足南電北送需要與強化電網安全的第六、七輸電計畫為例，從民國 90 年至 104 年間，預計需投資 5,655 億元在全國電網架設與維護上，該金額已超過原可就近填補北部電力缺口的龍門電廠造價。

風電與太陽光電存在著先天供電上的不穩定，台灣風力發電主要集中在東北季風時節，但用電高峰卻是在夏季，供電時間無法配合需求是我國風電的主要問題，且太陽光電夜間亦無法發電。另一方面，台灣為孤島電網，不像德國可透過歐洲電網與鄰國相互進行電力調度。換言之，無論是風電或是太陽光電，在離網後皆必須有相當的備載機組可供調度，若是以天然氣作為熱機備轉，則尚須額外投資，加蓋兩座大潭等級⁹的天然氣發電廠以為因應。而當風電與太陽光電大規模部署後，一旦瞬間全負載發電而產生大量多餘電力時，將可能面臨系統難以卸載而導致跳脫的風險，為此尚須籌建儲能設備，甚或架構跨國電網以之因應。

3. 整體成本效益

依據政府再生能源既有規劃及可開發潛力評估，其分析結果如表 2-6 所示。在現階段規劃中，假設 2030 年時所有發電設備皆能順利完工的情況下，年發電量為 186.6 億度，而總投資金額則達到 7,000 億元。若採更積極開發的方式，則需將台南、台東、高雄及屏東的共 253.8 平方公里的休耕地，皆移做太陽光電發電之用；同時必須使用到水深位於 0~50 m 所有可開發的離岸風場，雖能使年發電量達到四座核電廠總發電量的八成五左右，但建廠投資金額幾為核四廠目前預算的 6 倍有

⁹ 大潭火力發電廠擁有天然氣複環機組 6 部，裝置容量為：4384.2 MW

餘。以我國當下國庫狀況實有捉襟見肘的困難，若改以民間方式投資，考量再生能源償還貸款的能力，如此高額的資金出借，其實對於整體金融業亦會造成了相當不確定性的風險。資金的調度，其為我國現階段大規模發展再生能源最需審慎評估之要項。



表 2-6 我國太陽光電與風力發電的成本效益評估

開發方式	發電模式	裝置容量 (MW)	發電量 (億度)	建廠投資	佔核能發電量 (核一至核四) 的比例
既定規劃	風力發電	3,000	105.1	3,800 億元	29.4%
	太陽光電發電	6,200	81.5	3,200 億元	
積極開發	風力發電	6,000	210.2	7,600 億元	85.7%
	太陽光電發電	25,400	333.8	1.32 兆元	

圖表繪製：核研所

備註 1: 經濟部能源局於 2013 年公布離岸風電及太陽光電(地面型)的躉購費率分別為 5.6 及 4.8 元/度，以表 2 既定規劃情境為例，台灣電力公司針對裝置容量 3000 MW 的離岸風電及 6200 MW 的太陽光電，每年估計可發電 186.6 億度，所需購電金額為 980 億元/年。另據台電估計核四廠包含建廠、發電、後端處置等，總計每度電均化成本約 2 元，以此估算，每年發 186.6 億度，所需成本則為 373 億元/年。

資料來源：核能研究所機械系統專案、金屬中心及核能研究所太陽能專案、經濟部

總結而言，假使我國確以風電及太陽光電完全取代核電，按現行規劃，核能一至三廠將於 2018 年至 2025 年間陸續除役，故再生能源若要能有效代替核電機組，其必須滿足以下條件：(1)所有設備最晚應在 2025 年前完工啟用 (2)離岸風機與太陽光電直接設備投資需超過 2 兆元(每人每年約需負擔 1 萬元，連續 10 年)(3)另需至少投資 5000 億元¹⁰增設兩座備轉的天然氣發電廠(4)電網強化及取得土地亦需進行額外投資。如此鉅額的資金，若急於投入風電及太陽光電上，勢必排擠到國家基礎建設、社會福利、國防及教育等預算的分配。而近年來再生能源的價格持續下降，若我國尚無鼓勵相關產業發展的迫切性且基於國庫有限的事實，建議應將有限資金積極投入次世代、高效率新產品技術研發，待技術成熟、價格平穩後再大量裝設，

¹⁰ 以大潭火力發電廠為例，其土地取得及建廠金額共約 2700 億元。

如此才能為國家及人民創造更大的福祉。

就以科學數據的觀點與國家發展的軌跡，只要核電廠是在不發生任何重大事故的前提下，其所特有的高能量、低成本及穩定供給等能力，對於大多數人均自然稟賦有限卻又積極尋求經濟發展的國家來說，確實具有難以抗拒的吸引力。本文即是由核能有無對一個國家經濟發展與環境壓力抒解進行探討，進而找出我國目前所遭遇之困境並尋求解決之道。



第3章 研究方法



考慮到資料來源與統計定義的一致性，本研究所引證之能源數據主要是以國際能源署（IEA）提供給 OECD iLibrary 之統計資料庫（2014/6）為主，台灣經濟數據資料則多數來自於經建會定期出版的 Taiwan Statistical Data Book，必要時會在採用 AREMOS 經濟統計資料庫之數據（2014/3 版）。

3.1 環境庫茲奈曲線介紹

環境庫茲奈曲線（Environmental Kuznets Curve, EKC）是一種經常被用來觀察長期經濟成長與環境污染改善程度的方法，其最早見於 1991 年時 Grossman 與 Krueger 於 SO₂ 相關之研究上，他們持續追蹤北美地區發現相關污染物會隨著所得的增加先上升後下降，成為一個近似倒 U 的曲線（如圖 3-1）。而後 Arrow 更由此現象提出經濟成長與環境壓力之關係，便成為著名的環境庫茲奈曲線(EKC)假說。

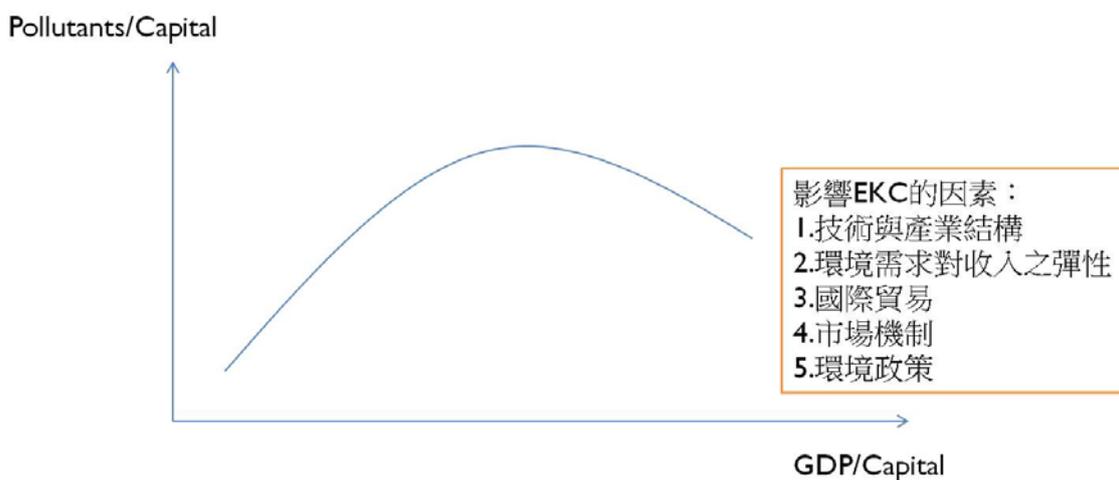
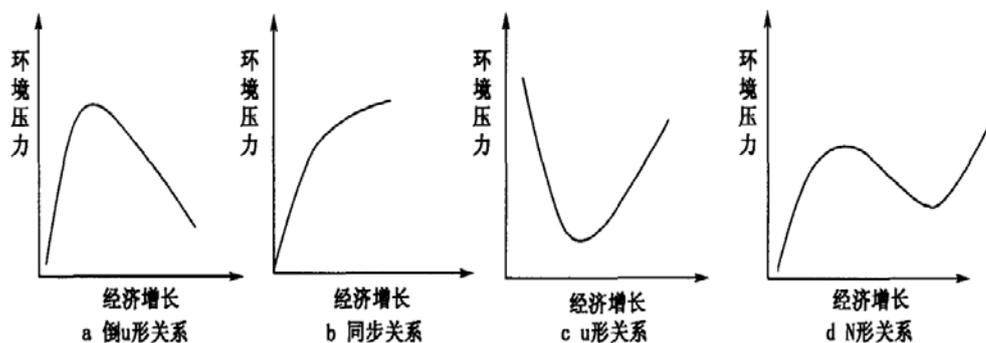


圖 3-1 基本倒 U 型 EKC

然而在後續大量的實證研究中則發現，EKC 受到諸如技術滲透率、產業結構調整、國際貿易、環境政策等等多方的影響，EKC 其實呈現了至少四種以上的相貌(圖 3-2)，其分類與佐證研究如下表所示：



資料來源:李玉文等(2005),環境庫茲涅茨曲線研究進展

圖 3-2 各類 EKC 的變形

表 3-1 不同 EKC 的成因

关系	理论解释	实例研究
倒 U 关系	技术与产业结构 环境质量需求的收入弹性 国际贸易 市场机制 环境政策	Bruyn 等(1998) ^[19] ; Lindmark(2002) ^[10] ; Pasche(2002) ^[11] Dinda(2004) ^[2] Taskin 等(2001) ^[12] ; Roldan 等(2001) ^[13] ; Cole(2004) ^[14] Unruh, Moonaw(1998) ^[15] ; Xuemei Liu(2005) ^[16] Dinda(2004) ^[2] ; Magnani(2001) ^[17] ; Sun(1999) ^[18] ; Roca 等(2001) ^[19]
同步关系	经济不能解决环境问题 EKC 假说不适于全球指标 经济发展尚未到分离阶段	Roca 等(2001) ^[19] ; Kwon(2005) ^[20] Stern(2001) ^[21] ; Anusategi, Escapa(2002) ^[22] Richard York 等(2003) ^[23] ; Khanna(2004) ^[29]
U 形关系	特殊指标 经济活动与政策	Stern(1996) ^[1] ; Balte, Soest(2001) ^[24] Kaufmann 等(1998) ^[25] ; Ariaster(2005) ^[26]
N 形关系	政策因素 经济因素	Friedl, Getzner(2003) ^[27] de Bruyn, Opschoor(1997) ^[21]

資料來源:李玉文等(2005),環境庫茲涅茨曲線研究進展

另一方面，在計量模型上 EKC 也遇到了一些操作上的問題，其相關佐證資料如表 3-2。主因於一般線性迴歸於存在立方項（弧線）的解釋力較弱，及面對複雜的環境現象因考慮不週，易有遺漏變數的可能。當然還有數據數量與品質皆有所限制，因環境數據系統化收集多從 1970 年代美國環保署 EPA 的成立後才漸受到重視，因此筆數多僅達統計分析所需的下限數，且前期數據品質掌握不易，亦增加了分析上的難度。雖然該假說目前在統計上尚有一些問題待克服，但其核心理論與民眾意向的契合度卻也是難以抹滅。簡單的說即是：『越富有的國家，民眾環保意識越強，對於環境品質的要求亦越高。』在本文研究中將以人均 CO₂ 排放做為污染物的指標，進行探討。

表 3-2 EKC 的統計研究



研究者	数据类型	估计技术	环境指标	回归模型	立方项
Khanza (2002) ^[39]	截面	OLS	单指标 (CO O ₃ NO _x)	一元对数线性	无
Stern (2002) ^[40]	典型调查	OLS	单指标 (S)	一元对数线性	无
Lindmark (2002) ^[10]	时序	OLS	单指标 (CO ₂)	多元对数线性	无
Canas 等 (2003) ^[41]	典型调查	FE, RE	复合指标 (DMI)	一元一般线性	有
Jha 等 (2003) ^[42]	截面	OLS	复合指标 (EDI)	一元一般线性	有
Friedl 等 (2003) ^[27]	典型调查	OLS	单指标 (CO ₂)	一元一般线性	有
Dietz 等 (2003) ^[43]	典型调查截面	FE	单指标 (生物多样性)	一元对数线性, 双曲线	无
Aurelia 等 (2004) ^[44]	典型调查	FE	单指标 (CO ₂)	多元对数线性	有
Zaroso 等 (2004) ^[45]	典型调查	OLS	单指标 (CO ₂)	二元对数线性	有
Galeotti 等 (2005) ^[38]	时序	FE	单指标 (CO ₂)	一元对数线性	有

亦如著名的 KAYA 方程式所示¹¹：

$$CO_2\text{排放量} = \text{人口數} \times \frac{GDP}{\text{人口數}} \times \frac{\text{能源用量}}{GDP} \times \frac{CO_2}{\text{能源用量}} \quad (1)$$

人口對於一國的 CO₂ 排放總量、GDP 分配都至為關鍵，同時人口多寡也會影響能源需求總量、產業結構、資源分配及政府治理方式..等。故本研究由 IEA 資料庫中的 138 個國家，先篩選出人口超過 1000 萬人的 75 個國家。且為了確保各經濟體樣本具備足夠的時間來發展，故採用了世界銀行高收入國家的定義，2011 年時人均所得必須超過 12667 美元，但為配合資料來於的一致性，本文將以人均 GDP 代替人均所得。符合上述兩個樣本條件的國家共計有 18 個。(如圖 3-3 所示)。

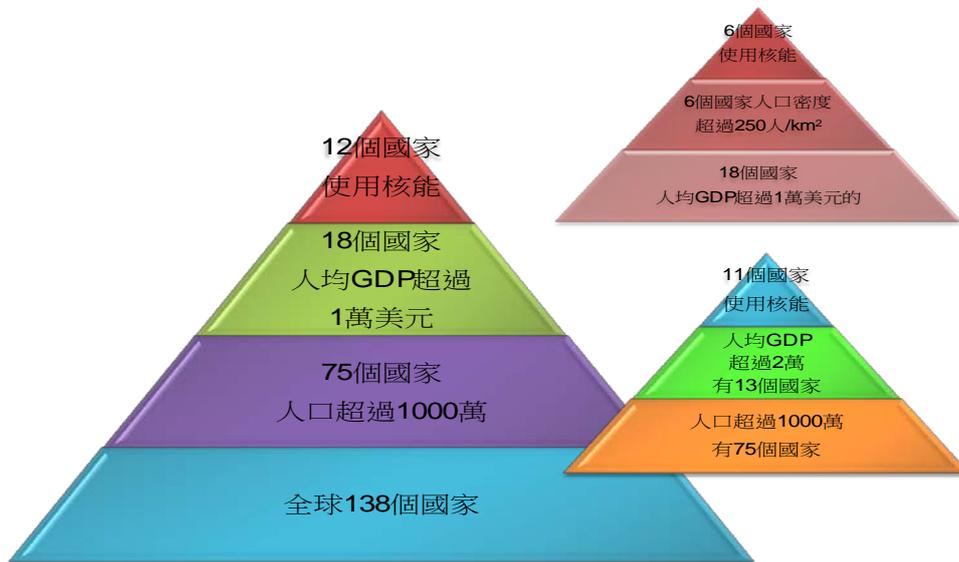


圖 3-3 樣本國篩選之條件

¹¹ Yoichi Kaya (1993), Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability

考慮樣本國人口總數、人均 GDP 與核能於總發電之佔比，將其詳細資料列表並依人均 GDP 排列，可得到表 3-3。其中共有 6 個國家沒有使用核能，且有 4 個人均 GDP 低於 2 萬美金。



表 3-3 18 個樣本國 人口、人均 GDP 與核能發電佔比

Flow GDP (billion 2005 USD using exchange rates) Population (millions)-2011	GDP	POP	GDP/POP	nuclear share (%) 2011
United States	13225.9	312.04	42.39	19.2
Netherlands	690.53	16.69	41.37	3.6
Australia	899.11	22.76	39.50	0
United Kingdom	2386.63	62.74	38.04	17.8
Germany	3048.69	81.78	37.28	17.8
Belgium	407.96	10.98	37.15	54.2
Japan	4621.97	127.83	36.16	18.1
Canada	1234.78	34.48	35.81	15.3
France	2249.13	65.12	34.54	77.7
Italy	1770.47	60.72	29.16	0
Spain	1183.83	46.13	25.66	19.5
Korea	1056.12	49.78	21.22	34.6
Chinese Taipei	470.55	23.39	20.12	19.0
Greece	223.83	11.31	19.79	0
Portugal	194.1	10.65	18.23	0
Czech Republic	151.18	10.5	14.40	33.0
Saudi Arabia	387.14	28.08	13.79	0
Poland	399.89	38.53	10.38	0

再追蹤個別由 1971~2011 年間的年資料可得到下圖 3-4(為方便觀察，本文將 EKC 的座標轉置)：

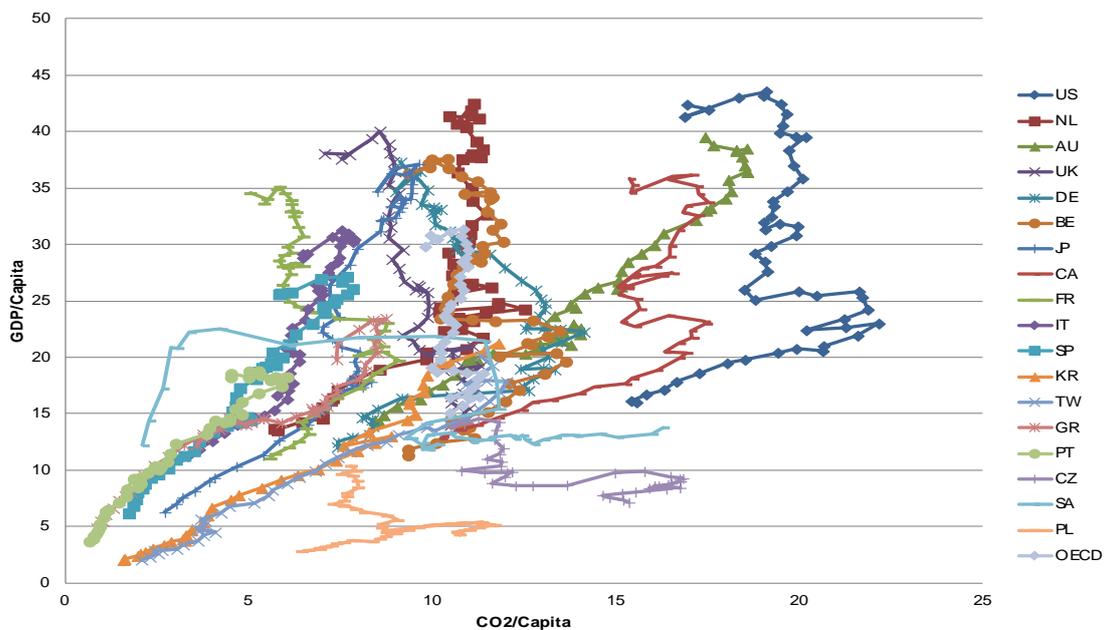


圖 3-4 18 個樣本國人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關係



3.2 多因素生產力分析

經濟成長來源分為供給面與需求面因素，供給面因素在於探討投入與產出之關係，產出之增加係受生產投入增加與生產技術改進之影響，由於生產投入(包含勞動與資本)無法持續不斷地增加，依賴要素投入增加所創造的經濟成長，終會遭遇瓶頸。多因素生產力即在衡量產出增加中來自技術進步、投入品質提升與結構轉變之非要素投入量變動部分，因此若要素投入不斷增加而無技術進步，根據報酬遞減率，將導致產出增加幅度逐步遞減。由於多因素生產力之提升，不僅有利於生產成本之降低，對於經濟持續發展、穩定國內物價及提升國民生活水準等，均有所助益，故如何有效增進生產力，已為各國產業政策致力達成之目標¹²。為了更清楚釐清電力使用對於我國經濟成長的影響，我們引用了成長會計的多因素生產力分析 (Multifactor Productivity, 簡稱 MFP)¹³，如下式 (2)：

$$M\dot{F}P = \overline{S}_L \left(\frac{\dot{Q}}{Q} - \frac{\dot{H}}{H} \right) + \overline{S}_K \left(\frac{\dot{Q}}{Q} - \frac{\dot{K}}{K} \right) \quad (2)$$

其中

$M\dot{F}P$ 為多因素生產力成長率

$\frac{\dot{Q}}{Q}$ 表示實質 GDP 成長率

$\frac{\dot{H}}{H}$ 表示就業投入總工時成長率

$\frac{\dot{K}}{K}$ 表示實質固定資本存量淨額成長率

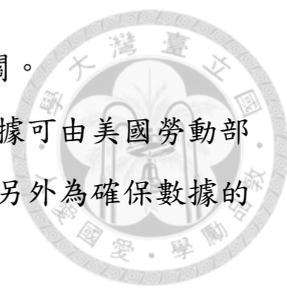
\overline{S}_L 與 \overline{S}_K 分別表示當期與前期勞動、資本投入份額的平均值

藉由上式將勞動力與資本成長的影響先由 GDP 成長中濾出後，再考慮電力供給、電力消費、電力價格等成長與 MFP 的關係。圖 3-5、圖 3-6 是本研究自行計算與主計總處公告之比較及各類因素之變化，在 1984 與 1997 有較大的誤差，但基

¹² 主計總處，八十九年多因素生產力變動趨勢提要分析

¹³ 主計總處 (2014/9/24) 多因素生產力分析

http://www.stat.gov.tw/ct_view.asp?xItem=783&ctNode=3251



本趨勢皆是一致的，此差異原因可能與未考慮資本利息支出有關。

利用此過程主要是想將原本 31 筆數據更行擴充之，部分數據可由美國勞動部取得¹⁴，但最終仍因缺乏工資資料而告功敗垂成，甚感可惜。另外為確保數據的一致性，在後續研究中仍採用主計總處所公布得資料為準。

圖 3-5 自行計算與主計處之 MFP 成長率比較

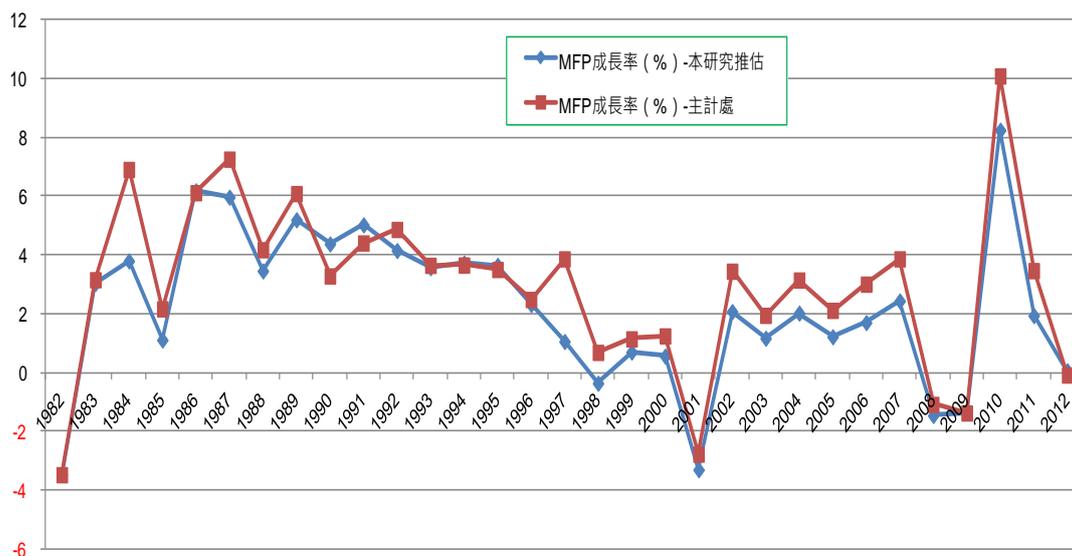
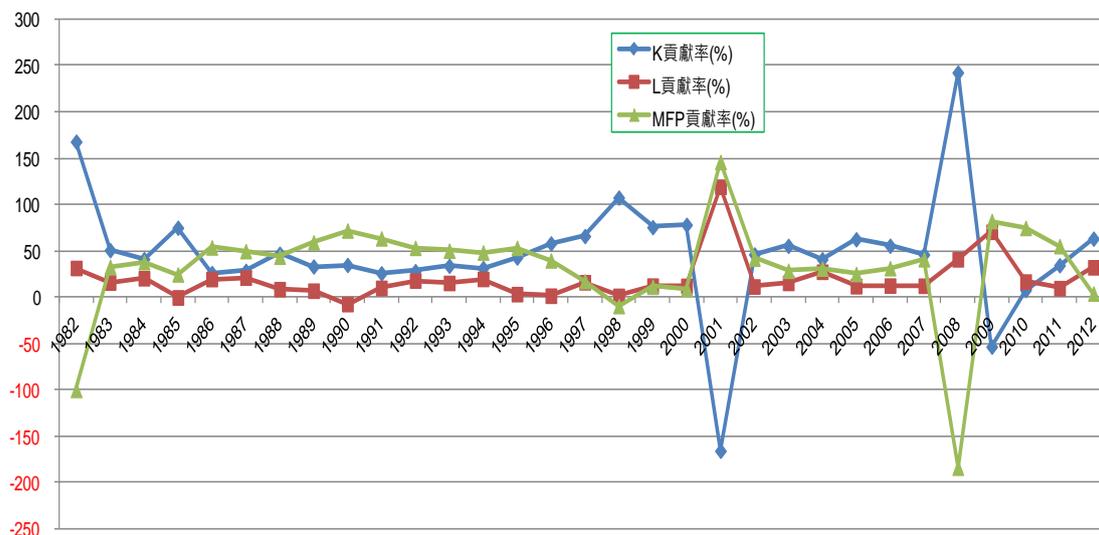


圖 3-6 MFP 與資本、勞動成長率比較



¹⁴ 美國勞動部 MFP 專頁，<http://www.bls.gov/mfp/>



3.3 最小平方法迴歸分析

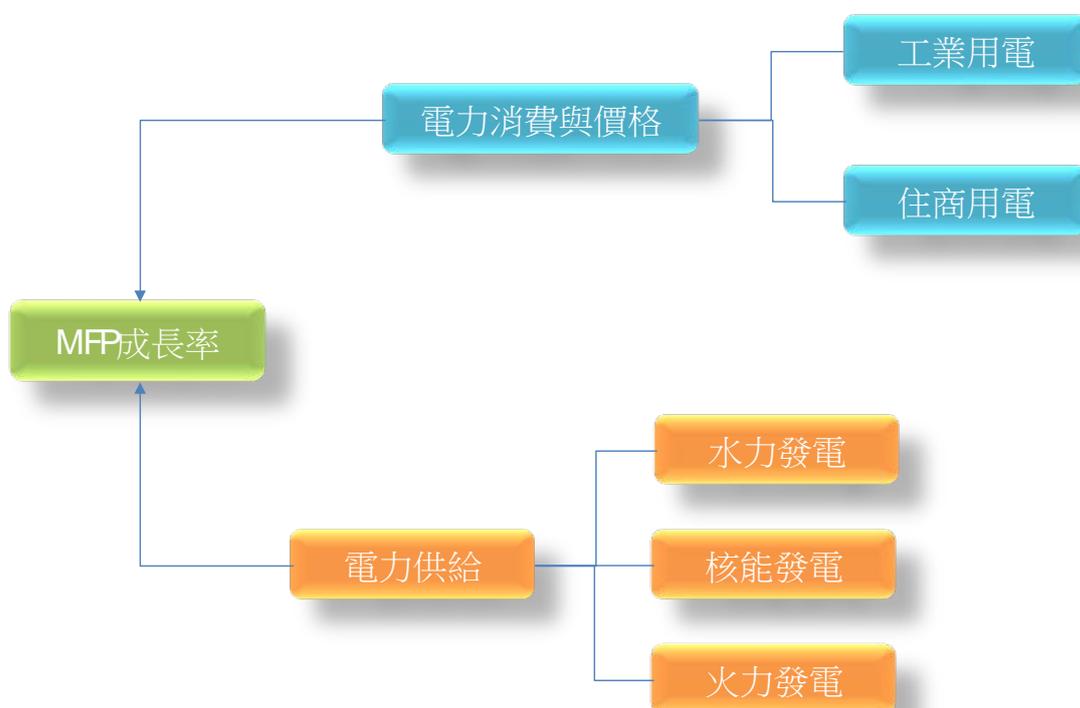
為了有效討論電力供需與經濟成長的關係，本研究採用最小平方法（OLS）進行迴歸分析。首先為呈現電力成長對我國 GDP 成長率的影響，採用了一般能源經濟分析上常見的電力消費需求彈性，定義為『一定時期內電力消費的年平均增長率與國民經濟年平均增長率的比值』，其是國民經濟諸多數量關係中的一個重要變量¹⁵。公式可被寫成：

$$\text{GDP 成長率} = \text{常數} + \text{電力消費需求彈性係數} \times \text{電力消費成長率} \quad (3)$$

其中，為了方便比較，本研究將截距項假設為零。

另一方面，考慮電力供給、電力消費與價格對於我國經濟成長的影響（如圖 3-7 所示），本研究分別設計了以下 4 個模型，數據由 1971~2011 年共 41 筆，並以 MFP 成長率代替 GDP 成長率：

圖 3-7 4 種 OLS 模型設計



¹⁵ 蔡樹文,基於電力消費彈性係數的電力需求分析[J].雲南社會科學,2007



模型 1：電力供給成長率與 MFP 成長率

目的：釐清不同發電種類對於經濟成長的貢獻

MFP 成長率

= 常數項 + C1 水力發電成長率 + C2 核能發電成長率 + C3 火力發電成長率

(4)

其中 C1、C2、C3 分別為其相關係數

必須說明的，由於非水力的再生能源佔我國電力供給率極低（2013 年時為 3.6%）且發展期間尚短（2000 年之後才有統計），故不記入迴歸當中。

模型 2：電力消費成長率與 MFP 成長率

目的：釐清不同部門的電力消費對於經濟成長的影響

MFP 成長率

= 常數項 + d1 工業部門耗電成長率 + d2 住宅與服務業部門耗電成長率 (5)

其中 d1、d2 分別為其相關係數

由於運輸、農漁業耗電佔比甚小，且對經濟成長影響有限，故忽略不記。

模型 3：能源價格與 MFP 成長率

目的：釐清不同部門的電力價格與國際油價對於經濟成長的影響

MFP 成長率

= 常數項 + E1 工業電價 + E2 住宅電價 + E3 國際油價

(6)

其中 E1、E2、E3 分別為其相關係數

模型 4：能源價格成長率與 MFP 成長率

目的：釐清不同部門的電力價格與國際油價等成長對於經濟成長的影響

MFP 成長率

= 常數項 + F1 工業電價成長率 + F2 住宅電價成長率 + F3 國際油價成長率

(7)

其中 F1、F2、F3 分別為其相關係數

模型 3 與模型 4 採用的台電所提供的年平均電價，實已包含在實際操作時工業的時間電價、住商的分級電價、夏月電價等制度之綜合效益。



第4章 EKC 結果分析



4.1 環境庫茲奈曲線之分析

在過去的 EKC 研究中，經常受限於資料筆數的限制、個別國家發展落差與稟賦差異，很難產生統計分析上顯著的結果。為避免上述困境，首先依照各國人均 GDP 進行分級，另外由於歐洲與非歐洲國家在在人均 GDP 大於 3 萬美金的國家，化石能源稟賦差異甚大，故必須分成兩個群組討論，故果如表 4-1 及圖 4-1~圖 4-4 所示（為方便觀察，本研究將 EKC 的座標進行轉置）。在人均 GDP 大於 3 萬美金的群組 1、2 裡，僅澳洲不使用核能，其中亦只有澳洲與日本 EKC 曲線未呈現倒 U 型。人均 GDP 小於 3 萬美金的群組 3、4 裡，沒有任何國家 EKC 呈現倒 U 型。個別群組詳細說明如下：

表 4-1 18 個樣本國群組分類

群組(國別)	人均 GDP、區域	整體特徵
[Group-1] NL、UK、 DE、BE、FR	>30000USD 歐系	全部都有使用核能。 皆呈現一定程度的倒 U 型 EKC。 人均 CO ₂ 皆低於 15 噸-年。 燃煤長期呈現用量減少的趨勢。
[Group-2] US、AU、 CA、JP	>30000USD 非歐系	僅澳洲未使用核能。 加拿大、美國呈現 U 型 EKC。 美、加、澳等人均 CO ₂ 均超過 15 噸-年。 美、加、澳等皆是化石燃料重要生產國。
[Group-3] IT、SP、KR、 TW	20000~30000	僅義大利未用核能。 沒有國家呈倒 U 型 EKC。 人均 CO ₂ 皆低於 15 噸-年。 台灣與南韓燃煤用量仍持續增加。

<p>[Group-4] GR、PT、 CZ、SA、PL</p>	<p>10000~20000</p>	<p>僅捷克使用核能。 沒有國家呈倒 U 型 EKC。 目前僅沙烏地阿拉伯人均 CO₂ 高於 15 噸-年。 希臘外，個國家燃煤用量皆顯著減少。</p>
---	--------------------	---

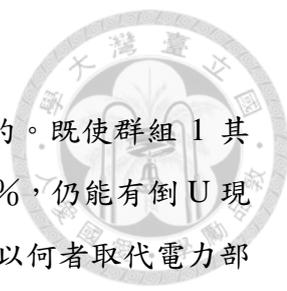
資料整理：本研究

說明：NL 為荷蘭、UK 為英國、DE 為德國、BE 為比利時、FR 為法國、US 為美國、AU 為澳洲、CA 為加拿大、JP 為日本、IT 為義大利、SP 為西班牙、KR 為南韓、TW 為台灣、GR 為希臘、PT 為葡萄牙、CZ 為捷克、SA 為沙烏地阿拉伯、PL 為波蘭

[Group-1]，如圖 4-1 所示。為了方便辨識核電對於 EKC 的影響，優先觀察在族群 1、2 中擁有最低人均 CO₂ 排放的國家-法國，該國亦是現今全球所有國家中使用核能發電佔比最高的家（2011 年占總供給量的 78%）。於 1970 年代之前，法國原本是一個相對能資源貧乏的國家，電力結構主要是以水力、燃油與燃煤為大宗，然為支持經濟的持續發展故必須仰賴大規模的化石燃料進口。而隨著化石燃料佔比的增加，人均 CO₂ 排放量亦呈現性提高，此符合 EKC 中第一階段人均 GDP 與人均 CO₂ 同步增長的假設。在此同時基於軍事需要，法國除發展自主核武外，亦已利用自行研發的少量核電廠額外提供一部分國家電力所需。

1973 年起世界爆發了一系列的石油危機，進口化石能源價格迅速飆升並大幅震盪，尤其是原油。為了減少原油對國內的衝擊，如其他國家一般，法國首先抑低了電力部門的燃油用量而改由相對低廉的燃煤加以遞補，此舉更推高了整體的人均 CO₂ 排放量，但在 1990 年代之前 CO₂ 並未被視為有害物質。法國政府在此時做出了一個重要的決定，基於國家能源安全考量將放棄原本自行設計的核電廠，改引進美國既有商用技術，並於改良後大量設置。1976~1980 年該國達到 EKC 所謂人均 CO₂ 排放量高峰轉折震盪的第二階段。

1980 年代核電廠的大量併網，不僅有效取代燃油電廠亦同時抑低了燃煤電廠的成長，同時人均 CO₂ 則由增轉減，迅速由 8 噸 CO₂/人-年遞減至 6 噸 CO₂/人-年，並長此維持在 5~6CO₂/人-年，則呼應了 EKC 第三階段。此表現不僅優於其他人均 GDP 高於 3 萬美金的另外 8 國，亦較多數人均 GDP 介於 10000~30000 美



金的國家為佳。

然僅以核能發電佔比用來解釋 EKC 所有現象其實是不足的。即使群組 1 其他歐洲國家雖然都有核能，但佔比各不相同，甚至荷蘭僅有 1.4%，仍能有倒 U 現象的發生。而就能源使用上來說，我們注意到面對石油危機時，以何者取代電力部門燃油的使用將是關鍵。除了法國是幾乎完全倚賴核電外，荷蘭則擴大天然使用，其他 3 國則是採取先以燃煤後用核能與天然氣替代的方式。其真實反映出個別國家天然稟賦之差異，並以此考量在能源安全下，以自身所能確實取得且支付得起的最低成本做為決策依據。而在受到能源衝擊後，國內產業結構也會隨之進行調整，這個過程將會是決定 EKC 是否能繼續維持倒 U 型的關鍵(Bruyn, 1998)(Pasche, 2002)(Roldan, 2001)。

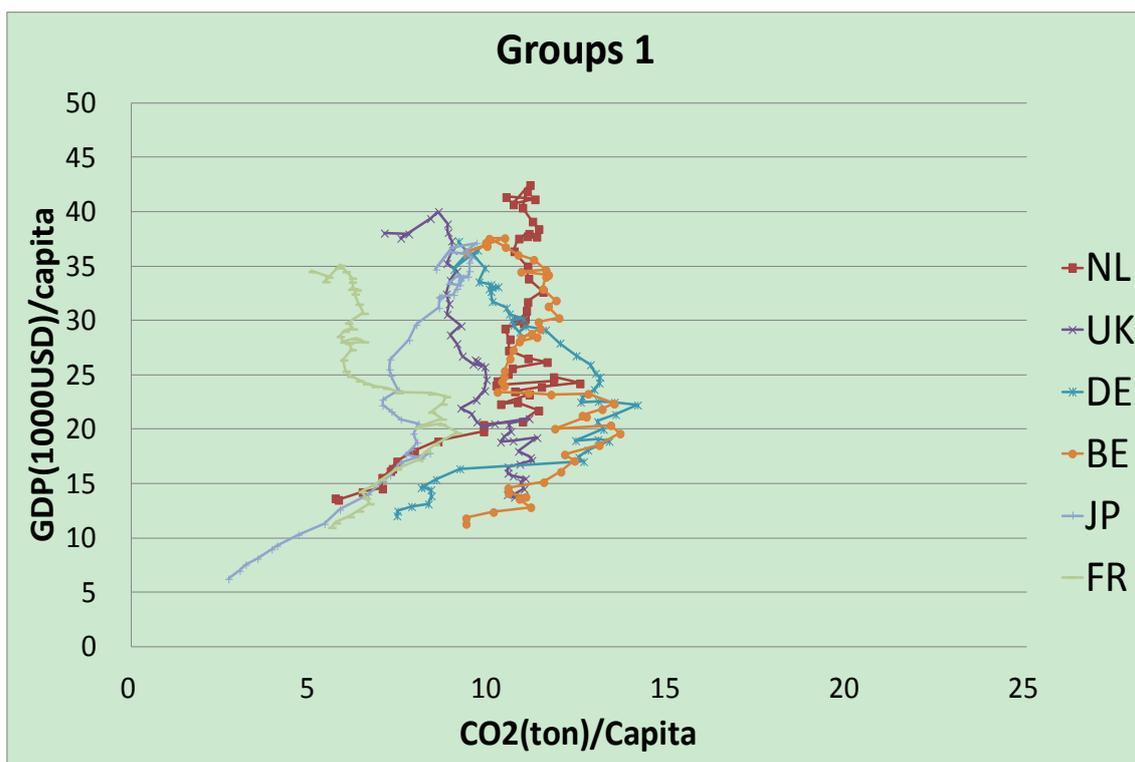


圖 4-1 歐洲人均 GDP 超過 3 萬美金之樣本國

[Group-2]，如圖 3 所示。類似的情況在群組 2 中一樣可以被觀察到。美國、加拿大與日本三個國家皆有核能，且在 1980 年前後，也陸續發生了 EKC 第二階段的高峰轉折震盪。但不同的是，美、加兩國皆是化石燃料重要的蘊藏國，自身即具備價格調整的能力，對於核能的需求並不迫切，故雖然 EKC 仍呈現倒 U 型，但

人均 CO2 則遠高於群組 1 國家。然而，加拿大後續仍持續擴大天然氣與原油的開採，雖然該國主要電力實為水力，但因為產業特性導致人均 CO2 惡化情形更趨嚴重，EKC 已由原本的 U 型逐漸轉呈 N 型。更有甚者，如澳洲由於仰賴化石燃料出口賺取外匯（約佔出口產值的 3 成）且全境非核，其 EKC 曲線則呈現了近乎直線的關係。

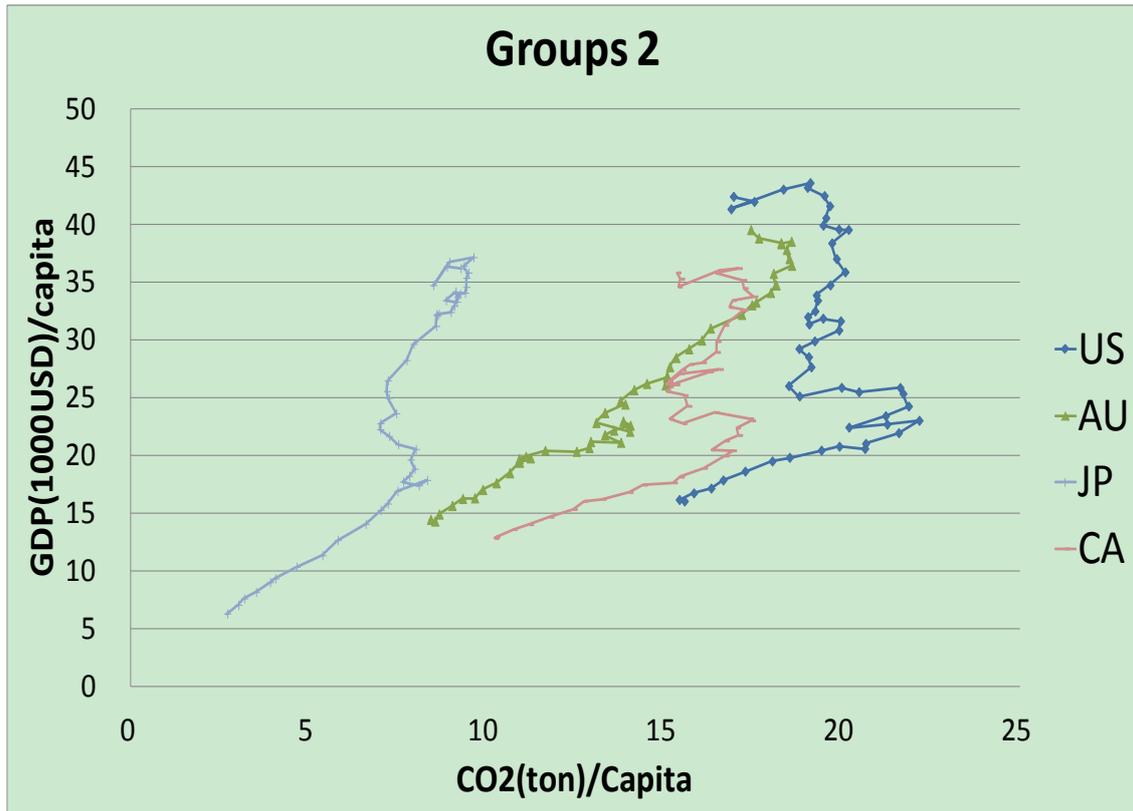


圖 4-2 非歐洲人均 GDP 超過 3 萬美金之樣本國

完全迥異於群組 2 的另外三個能源大國，『日本』是一個天然能資源極度匱乏卻又能順利達成高度經濟發展的國家，其對於國際能源價格與供給安全十分敏感。石油危機後該國除採取了擴大核能、燃煤、天然氣使用與大力推動節能措施等積極對策，並將發展核能視為其國家的根本計畫。儘管投入了諸多心血，日本在經歷 EKC 第二階段的高峰後，並未如群組 1 的國家，由遞減走向平緩，反而是於 1982 年後人均 CO2 伴隨著人均 GDP 增加而逐期走高，更多的進口化石能源被投入在各部門中，以支持經濟大幅度的成長及滿足國際市場所需。這種 N 型的 EKC 通常意味著在受到能源大規模衝擊，產業發生了相當程度的重組（人均 CO2 減少），但

經市場調整後仍然選擇了維持較高比例的工業發展方式（人均 CO2 增加）(Friedl, 2003)。

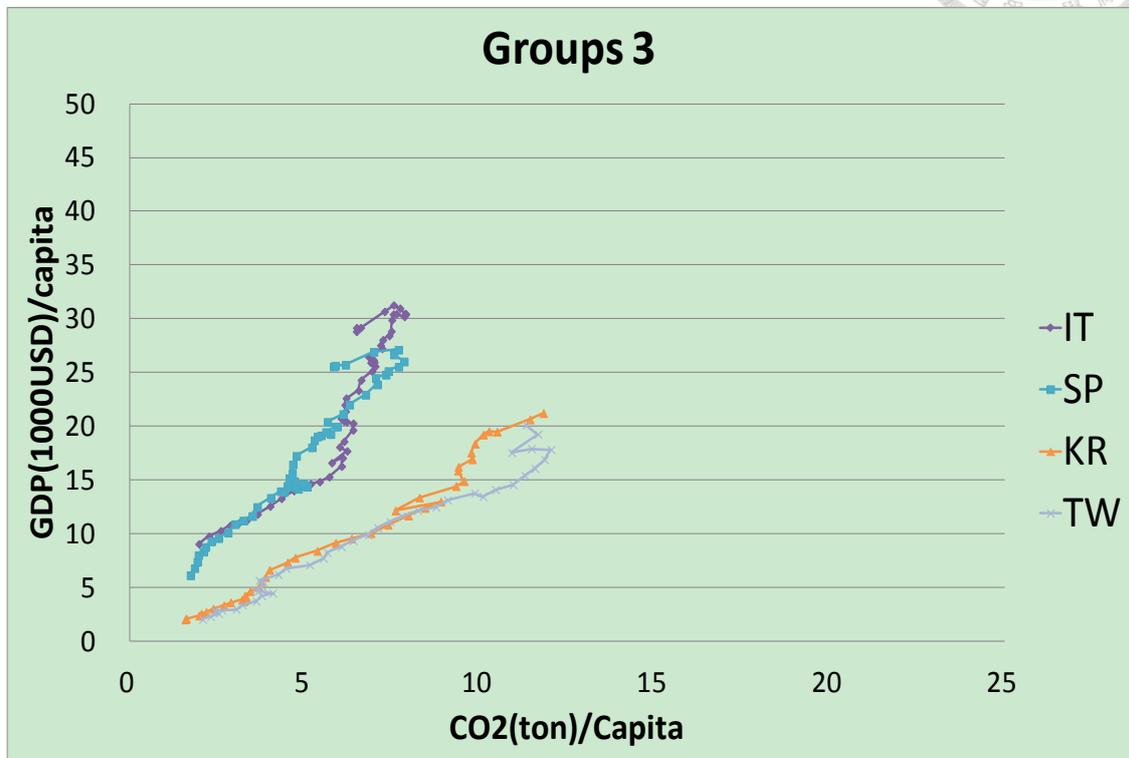


圖 4-3 人均 GDP 超過 2 萬美金少於 3 萬美金之樣本國

[Group-3]如圖 4 所示。本群組是一個有趣的組合。雖然人均 GDP 同屬 20,000 美金區間，但其中義大利與西班牙是歐系樣本國中人均 GDP 發展相對緩慢的國家，¹⁶而台灣和韓國則是公認的東亞國家經濟發展典範，兩類國家經濟差異性亦清楚的反映在 EKC 表現上。義西兩國在經濟發展的過程中曾受到石油危機的影響，很早即脫離了工業擴張的階段，故人均 CO2 的成長已然趨緩，但相較於群組 1 的國家，其 GDP 中仍依賴工業部門增長的貢獻，¹⁷致使 EKC 成為 N 型。反觀台韓兩

¹⁶ 歐豬五國（英語：PIIGS），亦作黑豬五國或五小豬國，是某些國際債券分析者、學者和國際經濟界媒體等對歐洲聯盟五個相對較弱的經濟體的貶稱。這個稱呼涵蓋葡萄牙（Portugal）、義大利（Italy）、愛爾蘭（Ireland）、希臘（Greece）、西班牙（Spain）

¹⁷ 2011 年時工業附加價值（占 GDP 的百分比），高收入經合組織國家均值为 23.7%、義大利為 26.6%、西班牙為 24.9%、韓國為 38.4%，無台灣統計數據，資料來源：<http://data.worldbank.org.cn/indicator/NV.IND.TOTL.ZS>

國，發展時間較晚，故過程中受到石油危機的影響較有限。而從 1980 年後藉由擴大出口導向政策並依循東亞雁形理論積極促使工業快速的成長，大量的燃煤、燃油被供給，此則導致人均 CO₂ 的持續增加(中技社，2014)，於 EKC 上幾成線性的關係。有趣的是，核能有無對於群組 3 國家 EKC 形狀的影響並不顯著。

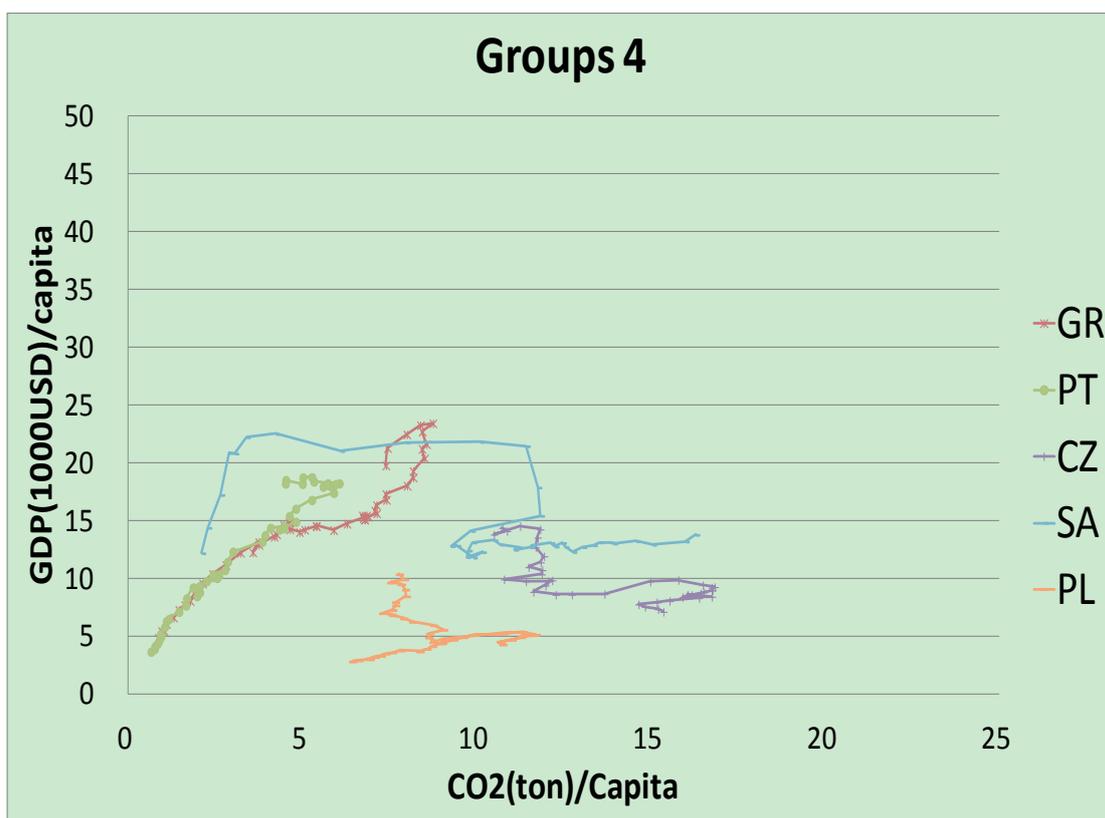


圖 4-4 人均 GDP 超過 1 萬美金少於 2 萬美金之樣本國

[Group-4]如圖 5 所示。本群組的 5 國中僅有捷克擁有核電廠，但波蘭與捷克皆發生了顯著的 EKC 轉折，追蹤該現象的時間點約在 1989 之後，正符合東歐國家轉型階段，大量燃煤與低效率生產方式被取代，故人均 GDP 增長的同時人均 CO₂ 排放亦減少了。值得注意的，類似情況在群組 1 中的德國因東西德合併也可被觀察到，事實上德國的 EKC 最能符合理想的倒 U 外型。希臘、葡萄牙兩國的能源結構略有差異，葡萄牙有較高的再生能源比例（生質能），並用天然氣與燃油抑低燃煤。希臘燃煤增加後持平、燃油與天然氣仍持續增加，近期人均 CO₂ 排放減少實與經濟狀況不佳導致人均 GDP 減少有關。

沙烏地阿拉伯 EKC 形狀是有所有國家中最為特殊的，石油危機期間因為原油

價格高漲，人均 GDP 獲得了顯著且迅速的改善，但 1980 年後，美國政府透過各種手段積極干預國際油價，雖然需求量大增導致該國人均 CO₂ 排放快速增加，但是人均 GDP 卻仍維持在低檔盤旋。相較於類似的能源大國，如澳洲、加拿大皆能因化石燃料出口提高國內人均 GDP，沙烏地阿拉伯 EKC 卻真實反映出了西方強權剝削他國的醜態。(管清友,2010)

表 4-2 是集合了 18 個樣本國中的人均 GDP、核能佔比、燃煤趨勢及工業附加價值對於 EKC 的影響，¹⁸可發現：

1. 核能在石油危機後大量進入電力系統，初期是用以替代高價的燃油電廠，近期則是用以替代高污染的燃煤電廠，先進國家的 EKC 第二階段的高峰轉折震盪多發生在此階段。
2. 人均 GDP 達三萬美金與核能使用是長期 EKC 維持倒 U 現象的必要條件，其代表能源成長趨緩，GDP 與 CO₂ 成長發生絕對脫鉤。
3. N 型 EKC 的國家，為既使在經歷過產業調整的 EKC 第二階段後，仍相當倚賴境內工業產值對於 GDP 的貢獻 ($\geq 25\%$)。通常 GDP 與 CO₂ 成長已發生相對脫鉤，第一階段與第二階段斜率有明顯差異。
4. 人均 GDP 於 1.5~2.5 萬美金之間 EKC 尚在發展階段，多成直線 (\nearrow) 關係，其意味著能源總需求增長依然強勁，人均 GDP 與 CO₂ 排放成長並未脫鉤。
5. 主要化石能源生產國人均排放皆大於 15 噸 CO₂/人，其餘國家則反之。
6. 在既有樣本中，只有德國、捷克與波蘭於 1990 年後有顯著的能源需求減少的現象，主要是屆時此三國都經歷了東歐轉型之歷程，這也是造就德國 EKC 呈現理想倒 U 外型的原因之一。

¹⁸ 資料來源：世界銀行 <http://data.worldbank.org.cn/data-catalog/world-development-indicators>

表 4-2 EKC 與人均 GDP、核能佔比、燃煤趨勢及工業附加價值¹⁹之關係

IEA-2011	GDP(US\$1000)/capita	Nuclear/TPES	2011 vs 1971 coal consumption	Industry, value added (% of GDP)	EKC
US	42.4	9.8%	↑	20.2	∩
NL	41.4	1.4%	↑	24.5	∩
AU**	39.5	-	↑	28.5	↗
UK	38.0	9.6%	↓	21.5	∩
DE	37.3	9.0%	↓	30.7	∩
BE	37.2	21.3%	↓	22.3	∩
JP	36.2	5.7%*	↑	26.2	N
CA**	35.8	9.7%	→	32.0 (2008)	N
FR	34.5	45.6%	↓	18.9	∩
IT	29.2	-	→	24.9	N
SP	25.7	12.0%	↑	26.6	N
KR	21.2	15.5%	↑	38.4	↗
TW	20.1	10.1%	↑	-	↗
GR	19.8	-	↑	15.8	↗
PT	18.2	-	↑	24.1	↗
CZ	14.4	17.0%	↓	37.3	Eastern European transition
SA**	13.8	-	0	63.8	Special case
PL	10.4	-	↓	31.6 (2010)	Eastern European transition

*2011 日本因為 311 事故關閉了部分核能電廠，核電佔比 2010 為 15.1%；2011 降為 5.7%

**化石燃料重要出口國

¹⁹ 資料來源：世界銀行 <http://data.worldbank.org.cn/data-catalog/world-development-indicators>



4.2 低電價對於 EKC 之影響

除了上述 EKC 的基本類型說明外，針對樣本中泛太平洋的 6 個國家（台日韓澳美加）我們也可以進行更深入之探討。如圖 4-5 所示。

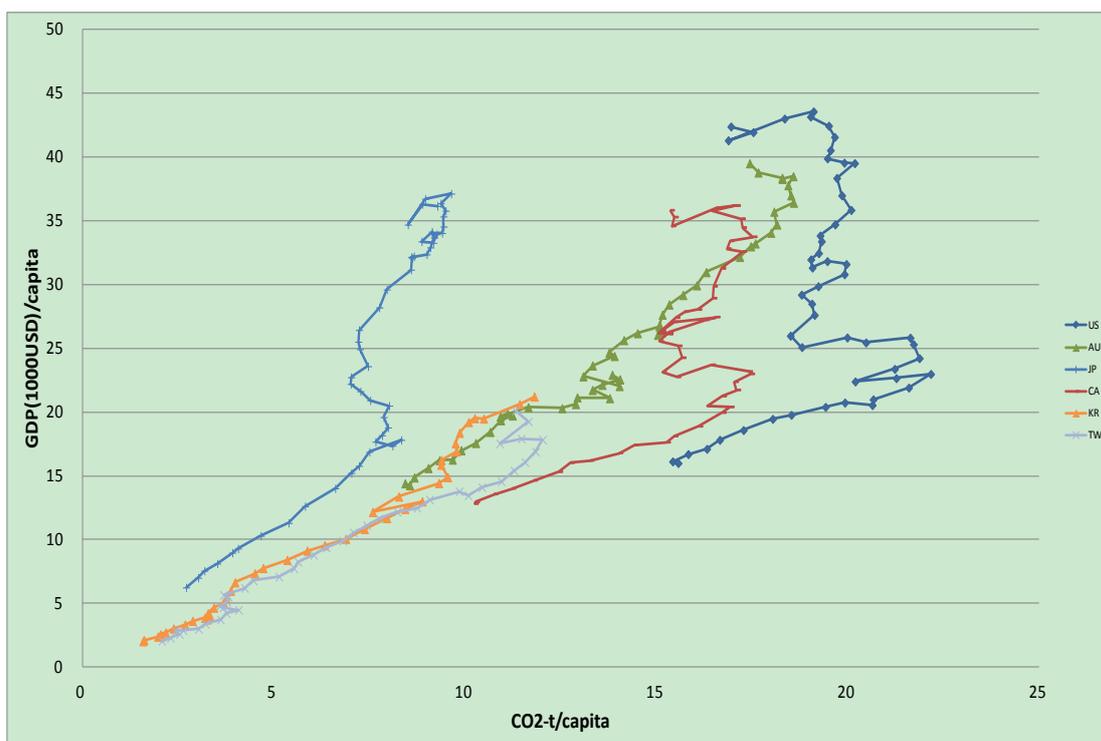


圖 4-5 泛太平洋國家之 EKC

雖然台韓同屬天然能資源貧乏之國家，且經濟發展路徑多依循日本的模式，但其 EKC 的斜率卻與能源大國澳洲極為類似，其主因於能源價格偏低所導致。就以工業電價為例，目前台、韓電力市場仍由國營獨家企業所壟斷，同時政府授予電力公司的電價目標為追求亞鄰國家中最低價格，如表 4-3.所示，2011 年時兩國電價僅高於美國，甚至低於加拿大與澳洲。反觀日本，雖然該國電力市場仍由 9 家區域電力公司所壟斷，但是政府長期以來注重節能政策，在價格中加入節能考量，故其工業電價為 18 個樣本國中第二高價。另一方面，考慮核能佔比對於工業電價的影響，暫不考率電價受管制的台日韓三國及政府大力補貼的沙烏地阿拉伯，而從其餘 14 個電力市場已自由化的國家來看，核能於 TPES 中的佔比多寡，對於電費的影響並不顯著，真正有意義的是自產能源（含核能）於 TPES 的佔比，雖然還是會

受到各國自身社經環境的差異，但整體而言自產能源佔比較高的國家，工業電費則較低，此趨勢亦符合經濟學上『物以稀為貴』的價格原則。

但過低的電價，容易造成供需市場的扭曲。比較樣本國之 EKC 曲線發覺，低工業電價的國家人均 CO₂ 排放在相同人均 GDP 下皆明顯偏高。換言之，這類國家在單位產值上必須投入較多之化石能源，但為了抑低低效率能源使用方式所導致的燃料成本增加，則選擇投入更多低廉但高污染性的化石燃料，如燃煤，此即是這類國家人均 CO₂ 排放走高的主因之一。另一方面，由於低廉的能源價格，容易吸引如能源、煉鋼、石化...甚至晶圓代工等高耗能產業的聚集，進而形成所謂的內鎖效應，限制了一個國家產業未來可能的走向。

觀察表 4-3 並總結上述討論可得知：

1. 人均 GDP 高低與電價高低無明顯的關係。
2. 電價高低與核能無明顯的關係，但和自產能源比、價格管制與否有關。
3. 電業自由化的國家，因為電價中反映了部分外部成本通常會高於受管制的國家（日本除外）。
4. 台、日、韓是人均 GDP 超過二萬美金仍維持電業壟斷之國家。
5. 台、韓受到電價管制的緣故，工業電價明顯偏低。

低電價易造成電力使用的不效率與較高的 CO₂ 排放。（如台、韓、美、加、澳洲等國）

表 4-3 EKC 與人均 GDP、自主能源佔比、電力市場開放與工業電價之關係

IEA-2011	GDP(US\$1000)/capita	Energy production/TPES	Nuclear/TPES	EKC	Electricity Liberalization	Industry price
US	42.4	81.5%	9.8%	∩	Open	2.05 (1)
NL	41.4	83.2%	1.4%	∩	Open	3.55
AU**	39.5	241.5%	-	↗	Open	2.52 (2010)
UK	38.0	68.9%	9.6%	∩	Open	3.75
DE	37.3	39.8%	9.0%	∩	Open	4.63
BE	37.2	30.8%	21.3%	∩	Open	4.08
JP	36.2	11.2%	5.7%	N	Regional Monopoly	5.28
CA**	35.8	162.4%	9.7%	N	Open	2.36
FR	34.5	53.8%	45.6%	∩	Open	3.58
IT	29.2	18.8%	-	N	Open	8.23
SP	25.7	25.3%	12.0%	N	Open	4.38
KR	21.2	18.0%	15.5%	↗	Monopoly	2.18 (2)
TW	20.1	12.5%	10.1%	↗	Monopoly	2.35(3)
GR	19.8	35.9%	-	↗	Open	3.70
PT	18.2	23.0%	-	↗	Open	4.10
CZ	14.4	73.8%	17.0%	Eastern European transition	Open	4.71
SA**	13.8	321.7%	-	Special case	Monopoly	-
PL	10.4	67.6%	-	Eastern European transition	Open	3.59

資料來源：本研究整理

第5章 我國電力與經濟成長之探討



5.1 我國電力供需與經濟成長

表 5-1 是我國與上述泛太平洋樣本國電力彈性之比較。可發覺我國的電力需求彈性係數最高，即代表我國在每單位 GDP 的成長中相較於其他國家必須仰賴更高比例的電力。受限於國內的市場規模，我國的重工業相較於另外 5 國是較不發達的，故我國工業耗能形式中主要是以電力為主，這也說明了為何我國對於低廉、大量且穩定的基載電力需求若渴。

表 5-1 泛太平洋樣本國之電力彈性估計

國別	彈性係數 E	R2	顯著水準	數據期間
台灣	0.853	0.234	0.000***	1972~2011
韓國	0.672	0.617	0.000***	1972~2011
日本	0.774	0.749	0.000***	1961~2011
加拿大	0.706	0.098	0.000***	1961~2011
美國	0.674	0.152	0.000***	1961~2011
澳洲	0.526	-0.774	0.000***	1961~2011

資料來源：本研究整理

另再由我國電力供需兩端來觀察其對於整體 GDP 成長率的影響，如下表 4-5。比較各種傳統電力成長與 GDP 成長的關係發覺到：由燃油、燃煤及天然氣等組成之火力電廠發電量的成長與 GDP 成長最有相關性，此剛好印證了為何我國 EKC 所呈現的人均 CO₂ 與人均 GDP 幾成線性成長的關係，2013 年時佔總電力供給的 77.96%。我國水力發電已走過了發展期，近期發電佔比逐年下滑，2013 年時僅為全國用電量的 2.15%。核能發電從 1978 年開始商轉後，各部機組陸續供電時間剛

好與我國經濟快速起飛的時間相當，且為了滿足電力需求，台電公司在近期亦相繼完成核電廠功率提昇工程，根據 2013 年數據我國核電發電佔比當年總電力供給的 16.50%（1993 年前曾達 29.82%。）。此亦說明了在維持我國現行經濟成長下對於核能及火力發電需求的依賴程度。



表 5-2 我國電力供需成長與 GDP 成長之關係

項目	係數	R2	顯著水準	數據期間
水力發電	0.0406	0.4936	0.052	1972~2011
火力發電	0.2309		0.000***	
核能發電	0.1765		0.000***	
常數項	3.1785		0.000***	
工業耗電	0.5862	0.4275	0.000***	
住宅與商業耗電	-0.0230		0.8531	
常數項	3.3946		0.001**	

資料來源：本研究整理

而在電力消費層面，比較工業部門（53.88%）與住商部門（合計 36.95%）兩電力消費大宗耗電量成長對於 GDP 成長的影響，結果則是有趣的：我國 GDP 成長與工業部門用電量明顯相依，但與非工業部門耗電成長關係則十分不顯著的，其背後的意義是說明了我國經濟成長相當依賴高耗能（電）產業的事實，這結果也呼應了前述討論中，由於我國長期刻意維持的低廉電價導致吸引眾多高耗電產業聚集之事實。

為了更清楚釐清電力使用對於我國經濟成長的影響，我們引用了成長會計的多因素生產力分析（Multifactor Productivity，簡稱 MFP）將勞動力與資本成長的影響先由 GDP 成長中濾出後，再考慮電力供給、電力消費、電力價格等成長與 MFP 的關係，請見表 5-3~表 5-5。

【電力供給方面】，表 5-3。由於台電屬於國營企業，故各類電力建設可視為



政府基礎建設支出，且多屬於大型投資計畫，故若將其由 GDP 成長濾出後，電力增長對於 MFP 的影響就不如電力需求對於 GDP 來的高。另外在勞動力方面，電力相關勞工總數位於 5 萬人上下，台灣勞動人口約為 1500~1700 萬之間，佔比不及千分之三，幾可忽略其影響性。

在不同類別的電力供給方面，近年來由於國內水庫可供開發的場所已達飽和，資本及勞動需求皆低，且水庫負有供水灌溉、保育水源等責任，操作性受到限制，其供電能力受到年度天候與人為因素影響甚大，故與 MFP 的關係轉而不顯著。核電與火力電廠因長期以來及擔負我國電力之主力，故既使以 MFP 計算之，兩者的持續成長仍然十分重要，唯獨減少資本投資後，強度部分稍有縮減。

表 5-3 我國電力供給成長與 MFP 之關係

MFP 成長率	電力供給成長率		不同類別電力供給成長率	
項目	係數	顯著水準	係數	顯著水準
電力供給成長率	0.5322	0.000***		
常數項	-0.7911	0.2553		
配適度 (R2)	0.4986			
水力發電量成長率			0.0340	0.142
核能發電量成長率			0.1105	0.016*
火力發電量成長率			0.1846	0.001**
常數項			0.3047	0.6504
配適度 (R2)			0.3765	

資料來源：本研究整理

【電力消費方面】，表 5-4。比較總消費成長率與總電力供給成長率，因為扣除了總電力供給中的電廠自用與線路損失部分後，更能真正反應維持經濟成長之電力需求，故相關係數與配適度皆有小幅之提昇。而在不同類別的電力消費上，再

次證明我國經濟成長與工業用電的成長明顯相關，而與住商部門電力使用無明確關係，我們臆測因為商業部門密集度（度電/GDP）遠低於工業，而住宅部門的電力服務需求主要是人口與實質收入增長等因素，並具有向下調降的僵固性，在我國目前兩項增長都相當有限的情況下，要觀察到住商部門電力消費成長對於 GDP 增長影響是不容易的。

表 5-4 我國電力消費成長與 MFP 之關係

MFP 成長率	電力消費成長率		住商與工業部門電力消費	
項目	係數	顯著水準	係數	顯著水準
電力消費成長率	0.5370	0.000***		
常數項	-0.8183	0.2475		
配適度 (R2)	0.4925			
住商電力消費成長率			0.0662	0.4131
工業電力消費成長率			0.4694	0.000***
常數項			-0.7378	0.2997
配適度 (R2)			0.5171	

資料來源：本研究整理

【電力價格方面】，表 5-5。根據實質價格來看，長期以來，由於政府長期干預電力價格的緣故並維持亞鄰最低價的政策方針，故無論是住宅及工業電價皆無真正反應成本，且國際油價亦無真正與台灣的 MFP 連結。更進一步來說，若是從能源價格成長率與 MFP 關係來看，為了防止國際能源價格成長（以國際油價為參考）對經濟的衝擊（MFP），政府會要求台電自行部分吸收即所謂的『凍漲策略』，工業電價成長與否自然與國際能源價格脫鉤，MFP 的成長於否則受到人為操作所影響。至於住宅電價的成長則反而與 MFP 成顯著的正相關，其原因在於政府為避免引起民怨，故住宅電價的調漲時機與比例多是依照各期間經濟成長率所決定，且工業與住宅電價的調幅往往也並不一致，故形成了這種明顯扭曲的結果。



表 5-5 我國電力價格與 MFP 之關係

MFP 成長率	實質價格		成長率	
項目	係數	顯著水準	係數	顯著水準
住宅電價	-0.1197	0.510		
工業電價	0.1561	0.265		
國際油價	-0.0264	0.165		
常數項	3.4164	0.652		
配適度 (R2)	0.1577			
住宅電價			0.4903	0.011*
工業電價			-0.1860	0.137
國際油價			-0.0276	0.206
常數項			2.3898	0.000***
配適度 (R2)			0.2535	

資料來源：本研究整理

根據我國 1982~2011 年間資料(共計 30 筆數據)，從 GDP 變化率中分離固定資本存量與勞動貢獻後，分析電力對於 MFP 變化率之影響可得到以下結束：

1. 在電力供給面：我國經濟成長高度倚賴穩定的電力供給，而火力與核能發電量的成長對於 MFP 成長是極為重要。
2. 在電力消費面：工業用電成長率對於 MFP 成長率有顯著正相關性。
3. 在電力價格面：受到我國電力價格長期管制的影響，MFP 變化率與住宅電價變化率成顯著正相關；與工業電價變化率弱的負相關；與國際油價變化率無關，這其實是一種市場扭曲的結果。

藉由上述的研究，我們得知工業用電是維持我國經濟成長的重要因素，而政府為了確保國際競爭力與特定目的則對於電價實施了積極的管制作為。就各國發展歷程來看，在工業化初期，管制市場與價格本是無可厚非的過程，但若以作為長期政策，後續的副作用終將一一浮現。





5.2 我國工業用電之初探

我國 2011 年時，工業部門用電實為全國耗電量的 57%，若與上述其他泛太平洋樣本國相比，如圖 5-1 所示，我國在工業部門（Industry）與服務業（Commercial and public services）部門用電比為 4.4，明顯高於他國，既使發展過程與人均 GDP 皆與我國類似之韓國則為 1.6，日本則僅有 0.8。且異於他國工業用電比正逐年下降中，我國工業用電比卻在 1997 年後開始持平，甚至於 2009 年後開始出現不減反增的情況。儘管政府部門一再強調我國工業部門能源密集度（能源使用量/GDP）正逐年遞減中，但由於產能/產量的持續擴大，導致我國工業部門對於各類能源尤其是電力的需求更趨吃緊。

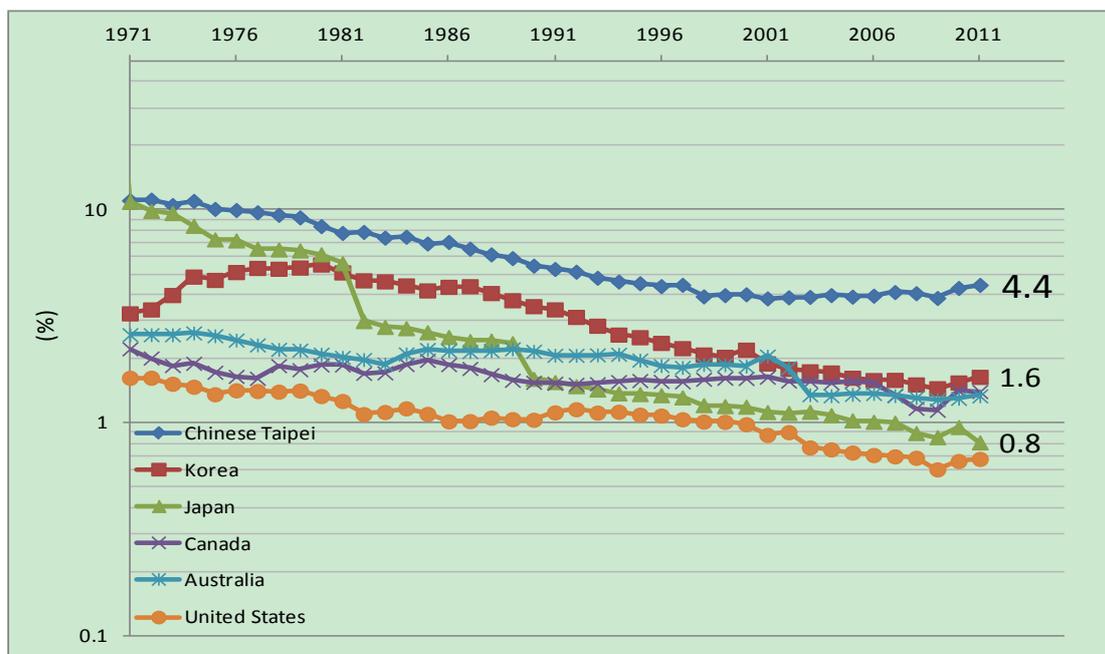


圖 5-1 泛太平洋樣本國工業與服務業用電比

從 GDP 結構來看，在我國經濟成長過程中，相較於出口成長，內需市場擴大的變化與實值 GDP 增長的關係較為明確（如圖 5-2）。然而我國內需在 1989 年達到最高峰後開始逐年走低，GDP 成長的表現亦不如過去，到了更近期受到眾多國內外因素的影響，內需市場在 2001、2008、2009 更是來到負成長的情況。為了挽救持續下滑的實值 GDP 成長，我國必須持續增大出口產值以抵銷內需不振的影響。

分析我國主要出口產品結構，可發覺第 16 類：『機器及機械用具；電機設備及零件；錄音機及聲音重放機；電視影像聲音記錄機及重放機上述各物之零件及附件』佔總出口產值將近 5 成（圖 5-3），而我國引以為傲的 IC 代工、NB 及 3C 產品等皆屬該類別。

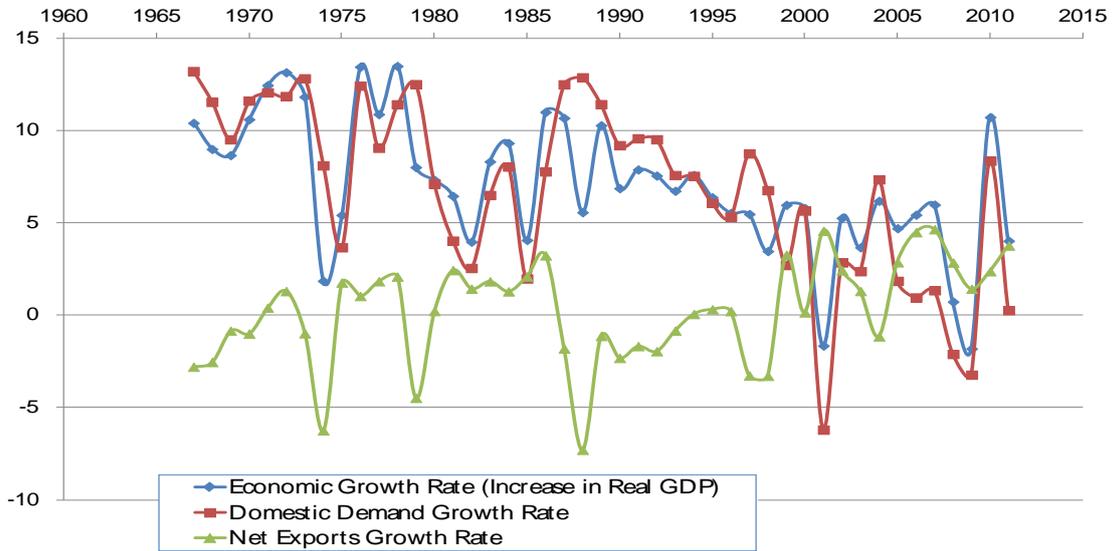


圖 5-2 我國實值 GDP、內需與淨外銷之成長率 (%) ²⁰

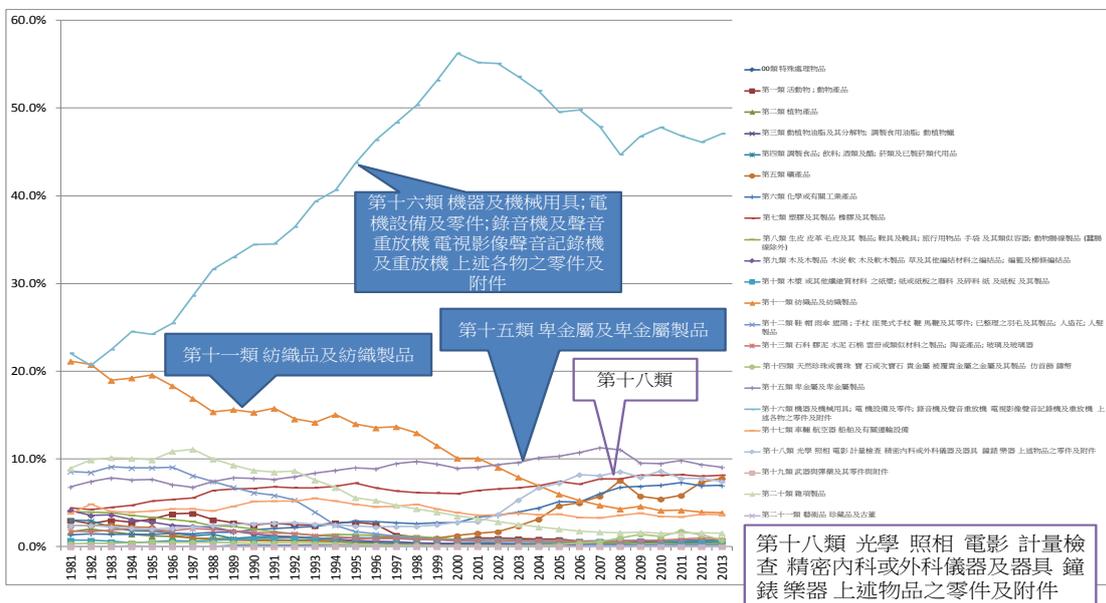
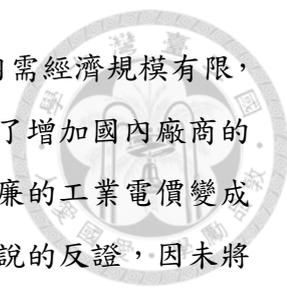


圖 5-3 我國出口產品產值之佔比 ²¹

²⁰ 資料來源：AREMOS

²¹ 資料來源：AREMOS



這類產品在能源需求上主要多是以電力為主，另由於我國內需經濟規模有限，故在生產後則供給全球市場所需（陳正倉等，2007）。故政府為了增加國內廠商的競爭力與創造投資誘因，對於天然稟賦資源不足的我國，維持低廉的工業電價變成為一個重要手段。然而根據環境經濟學上著名的波得（Porter）假說的反證，因未將能源（電力）使用內、外部成本真實反映，在低廉的價格保護下，廠商缺乏技術升級與產品創新的誘因，致使低附加價值商品在國內被大量製造，且產品無高值化的迫切性。這也形成我國企業以量取勝、削價競爭的經營策略。

另一方面，迥異於國際上其他先進國家的電力市場自由化，價格是由消費者與銷售商按照自行商議後簽訂的合約決定，我國電力市場則由一家國營企業獨大，電力價格則受到政府主導。在此制度下，工業電價與住宅電價的差距不宜太大，否則將導致民眾的反彈，即如最近一次國內兩階段電價調整即引發交叉補貼之爭議。必須強調的，這問題很大一部分其實是國內有心人士的誤解與誤導，如表 4-9 所示，在多數電業自由化的國家中，工業電力由於被視為生產要素，普遍計入較少的外部成本費用，故價格往往低於被視為消費用途的住宅電力。其中也只有義大利才能看見類似台灣近期這種幾無差別的電價型態，但其價格卻為我國電價的 3 倍有餘（人均 GDP 僅為 1.5 倍）。

從經濟學的基本原理來看，將價格刻意壓低於供需平衡點之下，將導致消費端的浪費與資源搶奪、供給端的大幅虧損，此即是今日台灣電力分配上遇到的問題。消費者對於節能設備的投資興趣缺缺、產業對於高耗能形成路徑依賴、台電在無法確實反映真實成本下財務累積了大幅虧損。同時為滿足不斷增加中的電力需求，且未避免自身企業破產而必須選擇相對低廉如燃煤、核能、大水力等電力生產方式（中技社，2013a）。但這些技術也往往在一般民眾認知中對於環境並非是最友善的，進而引起種種抗爭不斷，將原本相對單純的電力經濟問題提昇到政治解決的層級。

表 5-6 2012 年各國平均電價比較



住宅用電					工業用電						
排名	國別	台幣 (元/度)	排名	國別	台幣 (元/度)	排名	國別	台幣 (元/度)	排名	國別	台幣 (元/度)
1	大陸**	2.2202	18	匈牙利	6.0459	1	挪威	1.7045	18	法國	3.4449
2	墨西哥	2.6710	19	瑞士	6.0460	2	美國	1.9835	19	比利時	3.7493
3	台灣	2.7189	20	盧森堡	6.1968	3	南韓	2.4513	20	智利	3.7520
4	馬來西亞*	2.7596	21	英國	6.5370	4	台灣	2.5218	21	瑞士	3.8569
5	南韓	3.2535	22	新加坡	6.6115	5	瑞典	2.6414	22	匈牙利	3.8962
6	泰國	3.4152	23	瑞典	6.6324	6	紐西蘭	2.7937	23	希臘	3.9606
7	美國	3.5191	24	紐西蘭	6.8632	7	馬來西亞*	2.8699	24	英國	3.9733
8	香港	3.8964	25	荷	7.0552	8	大	2.8870	25	捷	4.2903

				蘭			陸 **			克	
9	挪威	4.0270	26	比利時	7.4016	9	香港	3.0123	26	葡萄牙	4.3622
10	以色列	4.4832	27	葡萄牙	7.7194	10	泰國	3.0502	27	西班牙*	4.3833
11	法國	5.1755	28	菲律賓	7.7476	11	芬蘭	3.0766	28	土耳其	4.3894
12	希臘	5.3461	29	愛爾蘭	8.0053	12	丹麥	3.0842	29	德國	4.4040
13	土耳其	5.4711	30	日本	8.1959	13	以色列	3.1892	30	愛爾蘭	4.5959
14	智利	5.4899	31	義大利	8.5407	14	荷蘭	3.2431	31	新加坡	4.9065
15	波蘭	5.6524	32	西班牙*	8.7010	15	盧森堡	3.3078	32	菲律賓	5.4883
16	芬蘭	5.7708	33	德國	10.0318	16	波蘭	3.3934	33	日本	5.7530
17	捷克	5.8916	34	丹麥	11.3548	17	墨西哥	3.3979	34	義大利	8.6409

資料來源：台電公司

經由上述分析可知，我國電力結構的扭曲實有其複雜因素所致，諸如：

1. 政府為促進經濟發展，長期管制電價並刻意追求亞鄰最低價，忽略電力的外部性，促使消費者無效率的使用。
2. 低工業電價使高耗電工業成為維持我國經濟成長之基石，並形成結構上的內鎖效應，箝制了產業升級的可能。
3. 為符合大量且低價的電力需求型態，限縮了電力供給者所能選擇的電力來源種類。
4. 各類電力的外部性未被確實計入，從而提高了社會整體的風險並成為政治紛擾的主因。

但必須特別說明的，我國因為長期管制電價，產業型態的內鎖（Lock-in）效應已然形成，其包含了台灣在國際供應鍊裡所扮演的角色、國內產業聚落的形成、人力資源培育....等等，最根本的問題是我國近1成的就業人口且是平均學歷最高、素質最佳的勞動力都已投入在相關產業內。其所影響的層面即廣且深，絕非部分人士一句『調高工業電價』或是『加速產業升級』，就能輕描淡寫給帶過的。

第6章 結論與建議



6.1 研究結論

為回應各界對於未來我國電力供需的想像，政府這些年投入了眾多的人力、物力在能源配比與節能減碳、綠色產業的發展上，但由於缺乏市場的誘導與篩選過程，各項政策的結果往往並不如預期，甚而引發各方利益團體激烈的競租行為。本文建議政府重新回到政策制訂者應有的高度，從國家稟賦、永續發展及國際情勢作為依據，優先提出明確的能源主張與目標，再交於公民諮議的方式進行討論與修訂，最後在賦予議會立法確立。

另一方面，雖然說各國稟賦、社經條件與文化制度並不完全相同，但是他國所以能達到高度成長的經驗仍是十分值得瞭解借鏡。就以上述 18 個樣本國為例，比較各國人均 GDP、核能、自產能源、民主程度與人口密度的關係，如表 6-1 所示。可清楚發覺：

1. 在人口超過 1000 萬的國家中，人均 GDP 必須超過 3 萬美金，EKC 才有機會被觀察到倒 U 型。
2. 人均 GDP 越高的群組，擁有核能國家的比例越高。在人均 GDP 超過 3 萬美金的國家中，只有化石能源出產大國的澳洲未選用核能。人口密度超過 200 人/平方公里的 8 國家裡只有義大利沒有採用核電。
3. 真正決定人均 GDP 高低的因素是：(1)自主能源的佔比與(2)民主化的程度。就人均 GDP 超過 3 萬的 9 個國家整體來看，自主能源佔比大於 30%、民主程度高於 8 以上是重要的先決條件。
4. 依照上述標準，2011 年時日本、法國各自在單項表現上略有不足；捷克兩項皆已達標，尚待有足夠的發展時間加以證明；韓國、台灣則兩項皆未達標，仍待繼續努力，但韓國表現比我國積極許多。

表 6-1 樣本國中人均 GDP 與自產能源、民主程度人口密度及 EKC 之關係

IEA-2011	Energy production /TPES	(Energy production - Nuclear)/TPES	GDP(US\$1000) /capita	Democracy Index 2011 ☆	Population /km2	EKC
US	81.5%	71.7%	42.4	8.11	34.1	∩
NL	83.2%	81.8%	41.4	8.99	494.9	∩
AU**	241.5%	241.5%	39.5	9.22	2.9	↗
UK	68.9%	59.3%	38.0	8.16	261.5	∩
DE	39.8%	30.8%	37.3	8.34	234.7	∩
BE	30.8%	9.5%	37.2	8.05	364.9	∩
JP	11.2%	5.4%	36.2	8.08	350.7	N
CA	162.4%	152.7%	35.8	9.08	3.8	N
FR	53.8%	8.2%	34.5	7.77	119.4	∩
IT*	18.8%	18.8%	29.2	7.74	206.4	N
SP	25.3%	13.3%	25.7	8.02	93.7	N
KR	18.0%	2.6%	21.2	8.06	512.7	↗
TW	12.5%	2.4%	20.1	7.46	641.7	↗
GR*	35.9%	35.9%	19.8	7.65	86.3	↗
PT*	23.0%	23.0%	18.2	7.81	115.4	↗
CZ	73.8%	56.8%	14.4	8.19	135.8	Eastern European transition
SA**	321.7%	321.7%	13.8	1.77	12.9	Special case
PL*	67.6%	67.6%	10.4	7.12	12.7	Eastern European transition
JP(2010)	19.9%	4.9%	36.3	8.08		

資料來源：本研究整理。

註：1. *表示沒有核能

2. **表示沒有核能且為能源輸出大國

3. ☆為經濟學人 Democracy index 2011：Full democracies 8-10；Flawed democracies 7.99~6



特別對於境內天然能資源稟賦貧乏且人口眾多的國家，若為追求持續增長而須滿足自主能源佔比大於 30% 的先決條件時，其實甚屬不易。而從供給面來看，要完全依賴非水力再生能源達到上述標準，以支持經濟體高度的發展，就目前技術而言仍有相當難度²²，故擴大核能使用將是無可避免的選擇（中技社，2013b,2013c）。而以我國為例，由於核能計畫推動長期受阻，而大量使用化石燃料替代，特別是擴大了進口天然氣使用量（80%用於發電）。20 年間我國能源進口支出與 GDP 比由 1993 年時的 2.47% 一路走高，至 2013 年時已為 13.25%，約為 2.03 兆新台幣，並高於當年我國政府總預算的 1.91 兆（歲入則為 1.73 兆）。持續走挺的國際化石能源價格與持續擴大中的進口量，不僅吞噬了各界努力得來不易的經濟成果，更提高了我國後續能源安全的曝險程度。

而就需求端來看，所謂民主程度往往也說明了市場自由化的程度（盧現祥，2011）。在人均 GDP 超過 3 萬美金的國家中，只有日本尚未達到電力市場全面的自由化（預計 2016 年完成）。反觀我國與韓國皆基於發展經濟的理由刻意管制並壓低電力價格，導致市場供需失衡，既使如韓國 2012 年時電力有 28.1% 來自於核能，但該國電力公司（KEPCO）仍是處於虧損的狀態。由此可知核能多寡只應作為分散能源價格風險的工具，而不該以此作為操縱電價的手段。電價的高低還是必須回到市場機制決定，才能促使有限資源被效率的分配與使用。故開放電力市場與反映電力外部成本，將是我國持續長期增長並達成節能減碳、發展綠能產業無可迴避的必經之路。

²² DDPS (2014) ,

Three principal approaches are available to balance an electric power system with a high penetration of time-varying renewable resources: first, to compensate for the intermittency with other generation; second, to coordinate and control electric demand so as to coincide with power availability (known as “demand response” and “flexible load”); and third, energy storage. Examples of the first approach include grid networks that link uncorrelated or negatively correlated supplies of intermittent energy, as well as hybrid systems that combine wind and solar energy with gas-powered electricity generation. However, gas hybrid systems are limited in how much natural gas can be used while meeting the falling target emissions intensity of the grid.



6.2 後續建議

本研究認為後續尚有三件事值得再做深入的探討：

- 一、東北亞台日韓三國中，自主能源表現皆低於 20%，就整體而言實不如其他國家，而日、韓兩國長期以來國家政策即決定了以核能作為補強該國自產能源不足的核心技術。我國目前則仍猶豫未決在，是該繼續擴大使用核能？亦或改走如義大利式的多元能源組合。然而隨著經濟的持續成長，各國對於電力的需求亦逐年擴大當中，此時義大利對他國進出口電力的交換佔比也同步增加。其反映出一個電力調度上十分關鍵的特性：『電力必須滿足即發即用，否則將使電網發生缺電甚或崩潰的危險。』當如太陽光電、風力發電這類必須依賴氣候決定當下輸出大小的電力，一旦大量併網後就必須建立相當比例的備轉機組、儲能系統或是進行境外電力交易的方式。義大利由於有歐洲電網可以進行跨國調度，因此降低了電網解聯的風險與成本。反觀，台、日、韓三國基於地理或政治因素，皆屬孤立電網形式，在缺乏外援的情況下，若選擇以穩定度不佳的電力類別作為提高自主能源佔比的依據，可能會有事倍功半的結果。
- 二、越高的自產能源比是不是就一定能創造越高的 GDP？這個一般性的假說是必須被檢視的。如表所示，SA（沙烏地阿拉伯）以最高的自產比例大幅領先其他國，但是該國人均所得近幾年來，實已遠遠落在我國之後。同時加拿大（CA）與澳洲（AU）兩大化石燃料輸出國，亦遜於美國、荷蘭，加拿大人均 GDP 甚至低於自主能源尚有不及 20% 的日本。其他諸如俄羅斯、中國、印度或非洲許多能資源豐富之國家，從二戰結束後至今，近 70 年間的經濟發展亦不如預期。參考新制度經濟學的觀點，本研究加入了經濟學人定期公布的民主指數（Democracy index）2011 年版之數據，如表中所示，可以直接觀察出 SA 在民主程度為 18 國中之倒數第一，在所有受驗的 167 個國家名列第 160 位，且為最差等級的完全獨裁（Authoritarian regimes：1~3）。反觀人均 GDP 超過 3 萬美金的國家，除法國外，其他國家民主等級皆屬於最高級的完全民主（Full democracies：8~10），而與 SA 同屬化石燃料出口大國的 CA 與 AU 更是超過 9 分以上。值得補充的，在

這些人口超過千萬且人均 GDP 超過 1 萬美金的國家中，除 SA 外，沒有其他所謂的集權國家。

三、一般認為，核能電廠因為有安全風險考量故較適合蓋在地廣人稀的地方，但在實際設置上卻是有矛盾的。通常地廣人稀區域並不需要大量高品質的電力供給，甚至自身即擁有如水力、風力、太陽能或生質能源等豐富且可用之能資源稟賦。反而是在人口密集但能資源受限的情況下，若要促進工業化與現代化的進展則更需仰賴核能，如表 6-1 所示，其中人口密度超過 200 人/平方公里的 8 個國家中，只有義大利沒有現役的核電廠；若把標準提高至人口密度超過 250 人/平方公里的 6 個國家，則全部皆使用核能。故從發展經濟學的角度來看，因為人口密度極高且人數眾多，在稟賦有限的條件下，所以需採用高能源密度之核能；但在風險社會的觀點，因為人口密度極高且人數眾多，在土地面積有限的情況下，所以對於核能安全更為敏感。值得注意的，我國是這 18 國中人口密度最高且非核自主能源最低之國家，這其間的對立其實更易被尖銳化。

最後對於政策意涵上，由於我國缺乏自主能源，故中、短期內仍需依靠核電作為穩定電源供給與發展經濟之基礎，此有賴於一個更有權力與公信力的獨立核安管制機構之建立。中、長期而言，我國必須從放鬆電價管制做起，不僅要讓電力反映真實內外部成本，亦可以引導資源被最有效利用，進而促進產業升級。

長久以來，『環境』與『經濟』宛如善與惡一般在各地引發的衝突不斷。然差別在於高度發展的國家懂得建立一套制度，讓各方利害取得彼此不滿意但可接受的平衡（林毅夫，2012），並針對可預期之風險盡早建立有效管理與積極改善的機制，這也就是為何這些國家能陸續將 EKC 反轉的核心因素。反之，一個越不成熟的國家，越缺乏風險管理的能力，政府對核心問題與責任多採迴避的態度，各方意見領袖則集中在非黑即白、非贏即輸的二元結果彼此爭論不休。若縱容這種情勢發展下去，不僅一事無成，更會增加彼此仇恨及不信任，轉而成為政治上的明顯對立，也削弱國家整體治理能力與持續增長的動力。從前文 EKC 分析中則可看見，一個缺乏足夠經濟基礎的國家，實難以將其人均 CO₂ 顯著減少的。

2014 年的世界發展報告曾有以下文字，十分值得真正關心我國核能安全、能源安全與永續發展的專家先進所深思之：

『不管是系統性風險還是個體風險，外力強加的風險還是自願承擔的風險，唯有透過成功應對風險，追求機會才能實現發展。很多危機和發展損失都是由於風險管理不善造成的。而且，由於對風險準備不足或不敢進行必要的冒險，可能錯失很多發展機會---這種情況亦稱為：『不行動的風險』。』

~世界銀行(2014)

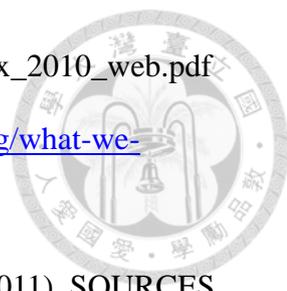
參考文獻



1. 中技社 (2013a), 台灣能源及電力業之挑戰與機會。
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/312815119218.pdf>
2. 中技社 (2013b), 核四關鍵議題報告。
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/361116059273.pdf>
3. 中技社 (2013c), 台灣能源及電力業之挑戰與機會 II。
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/39251551171.pdf>
4. 中技社 (2014), 台灣能源及電力業之挑戰與機會 III。
<http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/48111543490.pdf>
5. 主計總處, http://www.stat.gov.tw/ct_view.asp?xItem=783&ctNode=3251
6. 毛慶生 (2014), 總體經濟學, 台北: 雙葉書廊, 2-3
7. 林毅夫 (2012), 繁榮的求索, 台北: 時報出版社, 15
8. 世界銀行 (2004), 東亞創新 未來增長, 北京: 中國財政經濟出版社, 4-6
9. 世界銀行 (2008), 增長報告, 北京: 中國金融出版社, 15-18
10. 世界銀行 (2014), 風險與機會, 北京: 中國金融出版社, 21
11. 管清友(2010), 石油的邏輯, 北京: 清華大學出版社, 71-74
12. 速水佑次郎 (2003), 發展經濟學, 北京: 社會科學文獻出版社, 32
13. 陳正倉等 (2007), 產業經濟學, 台北: 雙葉書廊, 27
14. 盧現祥 (2011), 新制度經濟學, 武漢大學出版社, 163-165
15. 聯合國 (2014), 千禧年目標及 2015 年後進程,
<http://www.un.org/zh/millenniumgoals/>
16. Alberto Ansuategi(2002), "Economic growth and greenhouse gas emissions",

- Ecological Economics*, 40:1, 23-27.
17. Birgit Friedl, Michael Getzner (2003), “Determinants of CO2 emissions in a small open economy”, *Ecological Economics*, 45:1, 133-148.
 18. BP(2014), Statistical Review of World Energy 2014
<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
 19. David I Stem(1998), “Progress on the Environmental Kuznets Curve?”, *Environment and Development Economics*, 3:2, 173~196.
 20. Grossman G M; Krueger A B(1991), “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, <http://www.nber.org/papers/w3914>
 21. IEA(2013), World Energy Outlook 2013,
<http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>
 22. IPCC(2013), Fifth Assessment Report (AR5), <http://www.ipcc.ch/>
 23. JE Triplett (1999), “The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity?”, *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne* ,32:2, 309-334.
 24. Kenneth Arrow, Bert Bolin, Robert Costanza, Partha Dasgupta, Carl Folke, C. S. Holling, Bengt-Owe Jansson, Simon Levin, Karl-Goran Maler, Charles Perrings, David Pimentel(1995), “Economic growth, Carrying Capacity, and the Environment”, *SCIENCE*, 268:28, 520~521.
 25. L Brookes (1990), “The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution”, *Energy Policy*, 18:2, 199–201
 26. Neha Khanna(2004),”The demand for environmental quality and the environmental Kuznets Curve hypothesis”, *Ecological Economics*, 51:3-4, 225-236.



- 
27. The Economist, https://graphics.eiu.com/PDF/Democracy_Index_2010_web.pdf
 28. UN(2014), Pathways to Deep Decarbonization, <http://unsdsn.org/what-we-do/deep-decarbonization-pathways/>
 29. UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2011), SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION
 30. UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2012), UNSCEAR Assessment of the Fukushima-Daiichi Accident.
 31. William Gullickson and Michael J. (1987), “Multifactor productivity in U.S. manufacturing, 1949-83”, *Harper Monthly Labor Review* ,110:10, 18-28
 32. World Health Organization (2013),Health Risk Assessment from the Nuclear Accident After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Based on a Preliminary Dose Estimation, 166, Geneva.
 33. Yoichi Kaya (1993) , Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability, NEW YORK , United Nations University.