



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's Thesis

碳排放與經濟成長之關係

The Relationship Between CO₂ Emissions
and Economic Growth

宋建勳

Chien-Hsun Sung

指導教授：陳旭昇 博士

Advisor: Shiu-Sheng Chen, Ph.D.

中華民國 113 年 1 月

January 2024

國立臺灣大學碩(博)士學位論文
口試委員會審定書
MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY



碳排放與經濟成長之關係

The Relationship Between CO₂ Emissions
and Economic Growth

本論文係 宋建勳君 (學號 P09323020) 在國立臺灣大學經濟學系
在職專班完成之碩士學位論文，於民國 113 年 01 月 25 日承下列考試
委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department / Graduate Institute of
ECONOMICS on Jan. 25, 2024 have examined a Master's Thesis entitled above
presented by SUNG, CHIEN-HSUN (P09323020) candidate and hereby certify
that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

周有熙

張勝凱

(指導教授 Advisor)

陳旭升

誌謝

歷經這一年來的努力及多次的修改，終於來到了這篇，謹在此回顧這三年來的學習及研究的歷程，並表達誠摯的感謝。

首先感謝陳旭昇老師對於論文撰寫的指導，鼓勵學生朝自己有興趣的方向進行研究，並在過程中對研究的方法、內容給了許多寶貴的提點；感謝周有熙教授及張勝凱教授對於模型表達及表格順序和內容的建議，使學生論文能更趨完整；同時感謝陳旭昇老師的指導博士生旻錡對於論文格式的建議，使學生的論文格式能更符合老師要求的標準。在撰寫的過程中，由於嘗試寫新的東西，而不是單純改良別人寫過的論文，在研究方法跟模型設計上前後遇到了不少次瓶頸，模型前後重寫了四次，只為了能將研究做的更好更正確，在此感謝老師的耐心教導，並不放棄學生。

碩士兩年的課程生活，感謝經濟小組同學 Winson、Hazel、秋華、絲婷等人的陪伴，使學生研究所的生活多添了幾分色彩，同時感謝金澤、延任、小田、建宏、庚洋、淑芳等人與學生在課業及專業議題上的討論與交流，使學生在學習的過程中不至閉門造車，能收納不同的觀點。

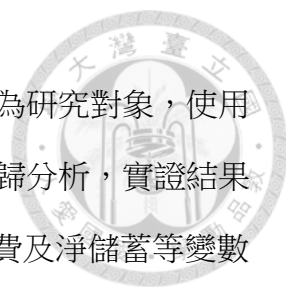
感謝單位長官的鼓勵與支持，期許學生能將這三年所學的 **Critical Thinking**、資料處理與經濟分析的經驗，應用到未來的工作上；並感謝未來太座這三年來的關心與陪伴，這一路來若沒您的支持，建勳恐怕沒辦法走的這麼遠，謹在此表達對您的感謝。

最後，學生一路走來受到的諸多幫助，一併在此表達謝意。

宋建勳 謹誌

中華民國 113 年 1 月

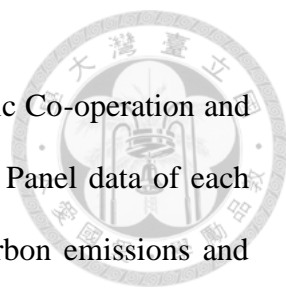
中文摘要



本文以經濟合作發展組織 38 個會員國及 5 大關鍵合作夥伴作為研究對象，使用各國 1981 至 2018 年之追蹤資料針對碳排放與經濟成長進行迴歸分析，實證結果顯示人均能源消費量、石化燃料佔發電比重、政府支出、碳消費及淨儲蓄等變數對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關係具有顯著的影響力。在因果關係上，本研究使用研究國家(43 國)1851 年至 2018 年之資料對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放進行 Granger 因果檢定，實證結果顯示能源結構仰賴化石燃料的主要工業國家在人均 GDP 與人均碳排放大多呈現互相影響關係；人均碳排放領先影響人均 GDP 的國家多為低碳能源結構，高度開採資源、重工業及加工出口的經濟體；人均碳排放與人均 GDP 無領先影響的國家則多為高所得及低碳能源的經濟體，產業上多為農、林業及金融服務業。另外，當選取落後期數較長時，人均碳排放與人均 GDP 有較明顯的領先影響關係，這關係視國家的能源結構是否仰賴化石燃料及產業主體是否會產生碳排放而定。

關鍵字：經濟成長、二氧化碳排放量、迴歸分析、因果關係檢定

Abstract



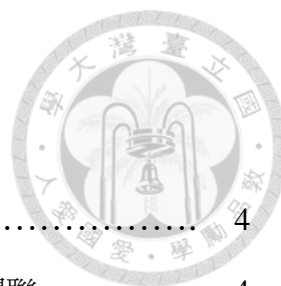
This article takes 38 member states of the Organization for Economic Co-operation and Development and 5 key partners as the research object. It uses the Panel data of each country from 1981 to 2018 conducts an regression analysis on carbon emissions and economic growth. Empirical results show that variables such as per capita energy consumption, the proportion of fossil fuels in power generation, government expenditures, carbon consumption and net savings have a significant impact on the relationship between GDP per capita and CO₂ emissions per capita. In Cause-Effect analysis, this article uses the data of 43 countries from 1851 to 2018 to conduct a Granger causality test on GDP per capita and CO₂ per capita emissions. The empirical results show that major industrial countries whose energy structure relies on fossil fuels mostly show an interactive relationship between GDP per capita and carbon emissions per capita ; countries whose carbon emissions per capita lead the way in influencing GDP per capita mostly have low-carbon energy structures and are highly resource-exploited, heavy industry and export processing economies; countries with no leading impact on carbon emissions per capita and GDP per capita are mostly high-income and low-carbon energy economies, and their industries are mostly agriculture, forestry and financial services. When the lag period is longer, carbon emissions per capita have a clear leading relationship with GDP per capita. This relationship depends on whether the country's energy structure relies on fossil fuels and whether industrial entities produce carbon emissions.

Keywords : CO₂ Emissions, Economic Growth, Regression analysis, Granger causality test

目次



口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
Abstract.....	iv
第一章 研究背景與動機.....	1
第二章 文獻回顧.....	9
2.1 環境顧志耐曲線.....	9
2.2 經濟成長、碳排放與能源需求.....	11
第三章 實證研究架構.....	13
3.1 研究架構.....	13
3.2 資料敘述.....	16
3.3 敘述統計量.....	19
第四章 結果與分析.....	20
4.1 交互作用回歸分析人均 GDP 與人均 CO ₂ 排放之關係...	20
4.2 因果檢定.....	23
第五章 結論與建議.....	27
參考文獻.....	30
圖表.....	33



圖次

圖 1、環境 Kuznets 曲線.....	4
圖 2、1850 年至 2016 年英國人均實質 GDP 及 CO ₂ 排放(噸)之關聯.....	4
圖 3、1985 年至 2016 年英國人均實質 GDP 與碳排放指數之走勢.....	5
圖 4、1948 至 2016 年英國各生產部門的產出佔 GDP 組成.....	6
圖 5、1990 年至 2017 年英國各類別之能源消費組成.....	6
圖 6、1970 年至 2015 年英國在不同衡量標準下的 CO ₂ 排放.....	7
圖 7、環境 Kuznets 曲線之相對觀點.....	11
圖 8、英國在 EORA 中的兩種 CO ₂ 排放之時間序列資料.....	15
圖 9、世界資源研究所分析 21 國碳排放及經濟結構轉型.....	33
圖 10、對數人均 GDP(美元)與對數人均碳排放量(噸)每 90 年之散佈圖.....	34
圖 11、1850-2018 年對數人均 CO ₂ 與對數人均 GDP 之散佈圖.....	35
圖 12、研究國家人均 CO ₂ 成長率與人均 GDP 成長率之散佈圖.....	36
圖 13、各國人均二氧化碳排放與人均 GDP 之散佈圖.....	37
圖 14、各國人均二氧化碳排放及人均 GDP 之時間序列圖.....	38
圖 15、世界資源研究所(WRI)-世界溫室氣體組成(2019)	39

表次



表 1、環境政策指標之總合結構.....	18
表 2、變數基本資料.....	19
表 3、變數敘述統計量.....	19
表 4、Panel Least square (各國 1981-2018 年資料).....	21
表 5、各變數預期效果及實證結果整理.....	22
表 6、1851 年至 2018 年就人均 GDP 與人均 CO ₂ 排放年增率之因果檢定整理.	25
表 7、世界資源研究所分析 21 國碳排放及經濟結構轉型.....	40
表 8、單根檢定- ADF (各國資料)	41
表 9、單根檢定- PP (各國資料)	42
表 10、全球化指數之結構、變數及權重.....	43
表 11、2022 全球化指數之變數敘述.....	44

第一章 研究背景與動機



根據國際再生能源總署(International Renewable Energy Agency,IRENA)規劃全球能源轉型藍圖，2015 至 2050 年間，全球對於再生能源的投資將從 9.6 兆美元成長至 22.3 兆美元，成長 1.3 倍，對於投資提高能源效率相關領域的金額也會從 29 兆美元成長至 53 兆美元，成長 83%，對於石化燃料能源的投資則將從 42 兆美元減少至 22.3 兆美元，減少 47%。

英國政府在 2019 年 10 月於倫敦舉辦之公部門綠色金融國際會議中提及「據世界銀行統計，1990 年至 2016 年間，英國達成溫室氣體排放量減少 42%，G7 國家平均減少 5%，同期英國 GDP 增加 72%，G7 國家平均僅增加 65%，顯示減少溫室氣體排放量並不阻礙經濟成長。」

國際清算銀行(Bank for International Settlements,BIS)於 2020.1.20 發表「綠天鵝(The Green Swan)」報告，示警氣候變遷風險可能在未來引發系統性金融危機，急需各國央行、監理機關及民間等共同採取行動，在未來氣候變遷對金融穩定的威脅中，有關轉型風險係指急速低碳轉型可能導致的經濟衝擊，石化相關產業的經濟價值將受到轉型風險的影響，大量石化相關資產可能被迫不具經濟價值而成為擱置資產(Stranded Asset)，並對整個金融體系造成系統性影響。

經濟合作暨發展組織(OECD)於 2020 年 10 月舉辦第 7 屆綠色金融及投資論壇會議中，對於如何確保金融體系有助於綠色復甦，政府一方面要減少對石化業之補貼，一方面增加對綠色產業之補貼及減輕稅賦。另在歐洲，擱置資產已成為一種現象，並證明化石燃料資產已失去於可再生能源領域的市場並遭受價值損失。各國政府財政吃緊，需要私人資本進入再生能源市場。

鑑於永續金融目標，為避免加劇氣候災難，全球升溫幅度於 2100 年相較工業革命前必須控制在攝氏 1.5 度內，歐盟執委會(European Commission, EC)於 2020 年 3 月提出「歐洲氣候法(European Climate Law)」草案，期望在 2050 年前成為世界第一個碳中和地區，並轉型成為一個經濟成長卻不損及資源消耗與開採的綠色

經濟體。草案內容包含：(1)2050 年前達成歐盟氣候中立(溫室氣體淨排放量為零)之目標(2)2030 年前，溫室氣體淨排放量與基準年(1990 年)相比，至少減少 55%。

2022 年 11 月 6 日至 18 日，第 27 屆聯合國氣候變化大會(COP27)在埃及落幕，並繼 2005 京都議定書(COP3)及 2015 巴黎協議(COP21)後達成歷史性協議，發達國家將向較貧窮國家支付費用，兌現每年提供 1,000 億美元的承諾，賠償氣候脆弱國家因氣候變遷造成的損失及損害。同時歐盟、其他已發展國家與氣候脆弱國家重申，必須以《巴黎氣候協定》控制升溫在攝氏 1.5 度內為目標。另外，三大雨林聯盟巴西、印尼、剛果三國共同承諾保護森林生態系統。

歐盟執委會於 2021 年 7 月公布碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) 草案，促使貿易夥伴國負擔與歐盟境內產業相同的碳成本，避免產業外移至其他碳管制較寬鬆的國家，並維護境內產業競爭力，並於 2023 年 10 月開始逐步試行、2027 年正式實施。CBAM 主要透過明定出口國產品的碳含量，若超過進口國規範，進口商除須購買「碳權」外，也將面臨產品被課徵碳關稅，初期要求進口鋼鐵、鋁、水泥、肥料及電力產品須申報碳排放量，進口商扣除已於出口國繳納費用以及享有之免費排放額度外，必須交出向管理局購買的 CBAM 憑證，價格則根據歐盟碳交易所的配額額度每周平均拍賣價格計算，單位為歐元/噸 CO₂ 排放量。

2016.4.5 世界資源研究所(WRI)分析 21 個經濟成長與碳排放脫鉤的國家¹，認為脫鉤的主要原因是經濟結構轉型，WRI 認為，這些國家並沒有一個單一公式、政策或是地理趨勢來說明此脫鉤現象。瑞典積極地推動碳稅等政策是驅動其脫鉤的原因；丹麥則因再生能源的高速成長，活絡當地生產的同時也降低碳排放量。其他國家另外一個關鍵因素則是經濟結構的轉型，也就是從碳排放密集產業轉型成低碳排放產業 (圖 10)。

¹ The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP, World Resources Institute (WRI), April 5, 2016

這些國家中，有 9 成以上在 2000 年到 2013 年間工業 GDP 占比是下降的。除了保加利亞及烏茲別克兩國是在工業生產增加的情況下仍呈現經濟成長與碳排放脫鉤情形；瑞士及捷克工業 GDP 占比則大致維持不變。此 21 國在 2000 年到 2013 年間工業 GDP 占比平均下降了 3%，而 CO₂ 排放量平均則下降 15%。(表 1)

2019.10.23 英國國家統計局發布官方數據分析報告²，指出英國碳排放和經濟成長脫鉤之主因是能源部門由煤炭轉為再生能源、環境法規趨嚴並逐步由碳密集製造業轉型為較不密集的服務型產業。1990 至 2017 年間英國碳排放密集度持續下降，主要降幅來自發電業(-67%)其次則是製造業(-43%)、水資源(-38%)及運輸業(-33%)，能源轉型從燃煤到再生能源直接帶動英國 CO₂ 排放量持續下降。英國目前的社會經濟條件有助於達成碳排放減量的目標，例如 2017 年英國服務業貢獻了 8 成 GDP，相較在 1948 年英國服務業僅貢獻 51%GDP；此外受惠於技術持續進步，再生能源替代化石燃料速度加快，1990 至 2017 年間，英國再生能源成長 1267%，化石燃料能源消費減少 22%，以下將該報告整理摘錄如下：

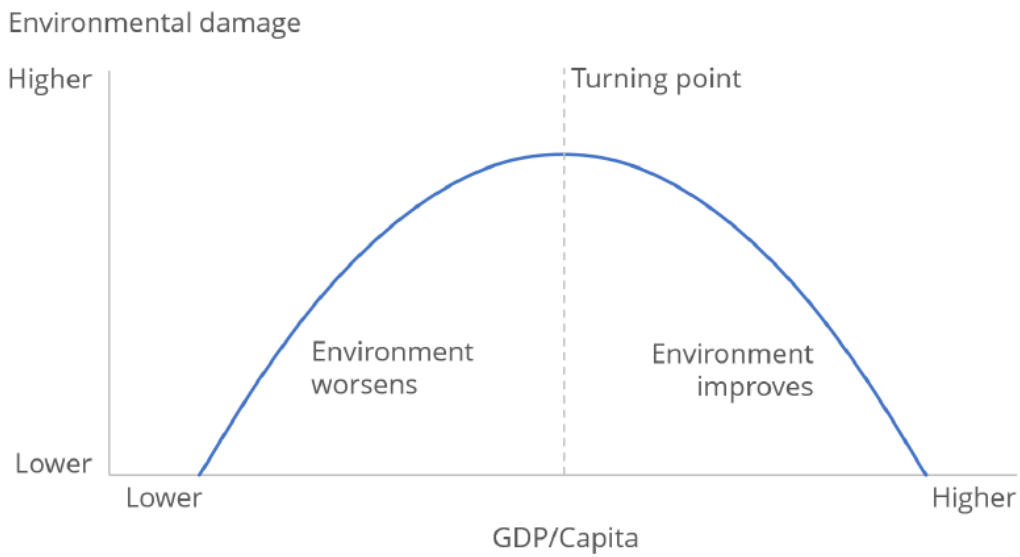
過去一百年來，經濟成長與環境影響越來越密不可分，其中一個著名的影響便是溫室效應。1992 年，環境顧志耐曲線(Environmental Kuznets Curve , EKC)開始被普遍用來描述溫室氣體(如氟排放)及人均國民所得之關係。

人均國民所得在成長初期會伴隨著溫室氣體的排放，而後伴隨著經濟開始從工業生產轉型為服務導向經濟體後，最終對環境的傷害將會下降，如圖 1：

² The decoupling of economic growth from carbon emissions: UK evidence , Office for national Statistics(ONS) , October 21, 2019

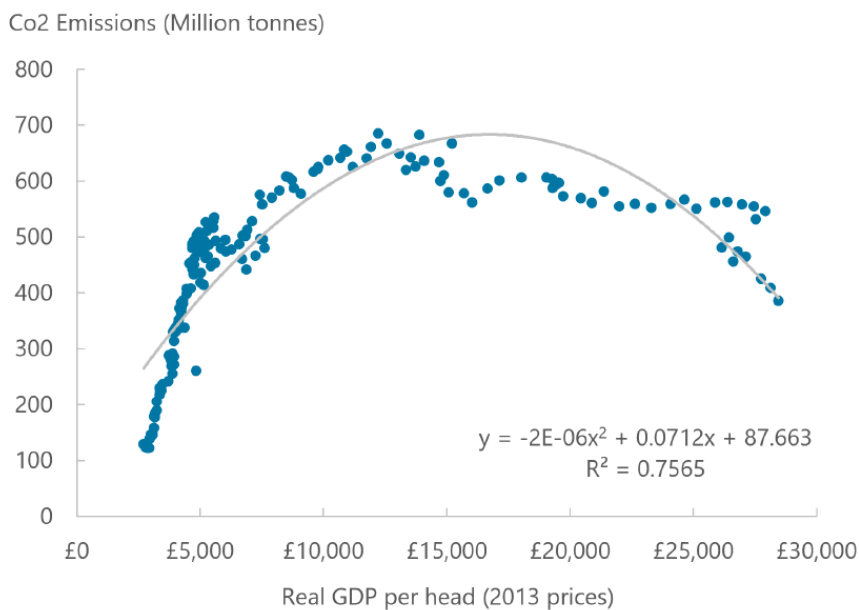


圖 1、環境顧志耐曲線³



18 世紀至 19 世紀以來，英國經濟體從農業導向轉型為工業導向，並伴隨著密集碳排放。西元 1850 至 1985 年間，英國人均 GDP 成長 516%，同時碳排放成長 354%，主要排放來源包括工業革命期間工廠燃煤及民間燒煤供暖，這段期間，英國每年煤炭消費從 1850 年之 29 百萬噸於 1950 年已增加至 206 百萬噸，如圖 2：

圖 2、1850 年至 2016 年之人均實質 GDP 及 CO₂ 排放(噸)之關聯⁴



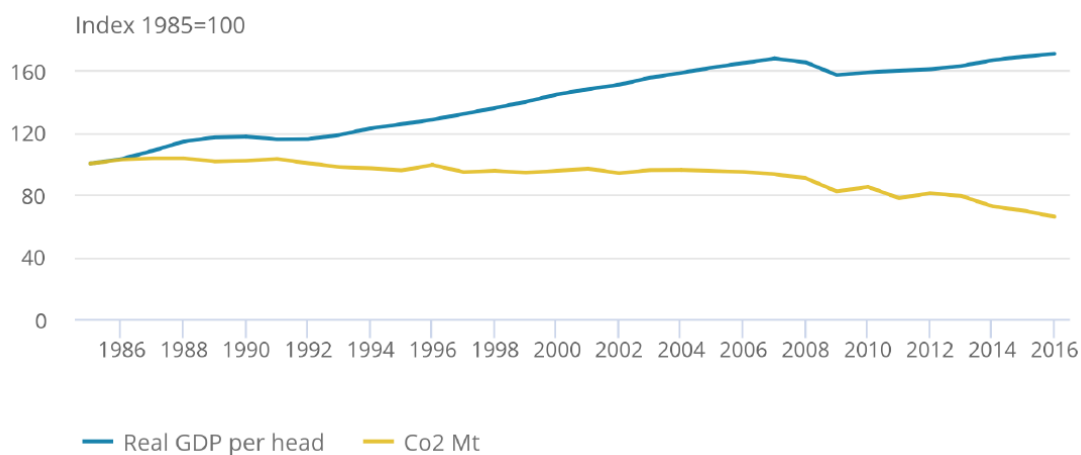
³ 同附註 2，圖 1

⁴ 同上，圖 3

此時英國在 1952 年因為大量燃燒煤炭造成許多都市如倫敦(London)、格拉斯哥(Glasgow)、利茲(Leeds)及曼徹斯特(Manchester)霧霾，又稱倫敦霧霾事件(The Great Smog)，其嚴重程度遮蔽日照及建築並損及人民健康，當時造成上萬人死亡。環境保護意識的抬頭促使政府通過嚴格的環境規範，英國遂於 1956 年通過清潔空氣法案(Clean Air Acts)，並在 1968 年進一步修法禁止使用黑煤同時發電廠必須使用乾淨無煙的燃料，以逐步降低煤炭的使用量。

1985 年英國開始進入經濟成長與碳排放脫鉤時期，該年英國人均 GDP16,667 英鎊、CO₂ 排放總量 5.86 億噸，自 1985 年迄 2016 年，英國實質 GDP 成長 70.7%，同時碳排放減少 34.2%，如圖 3：

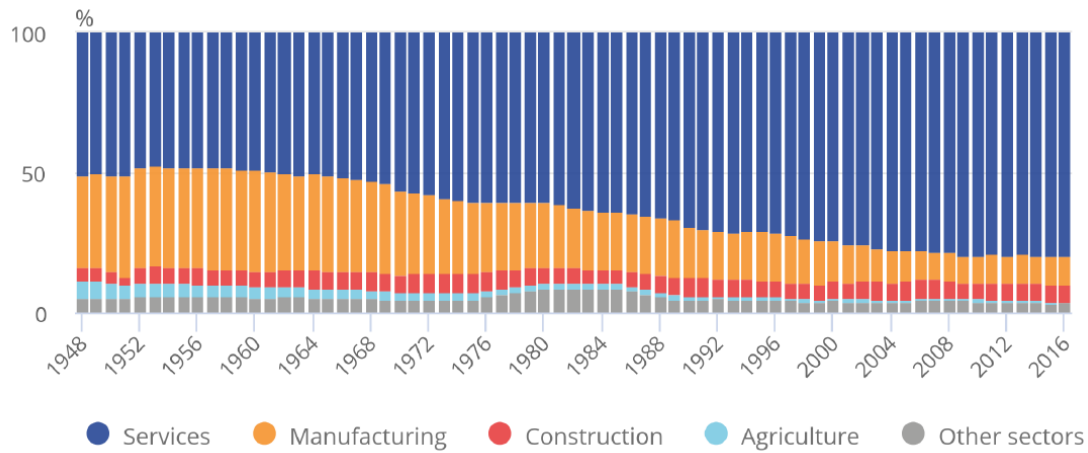
圖 3、1985 年至 2016 年人均實質 GDP 與碳排放指數之走勢⁵



1986 年至 2017 年間，英國服務業平均貢獻 74%GDP (期間工業平均貢獻 14%)，鑒於科技快速進步及全球化所賜，英國得以將生產活動集中在薪資較具競爭力的國家，如圖 4：

⁵ 同上，圖 4

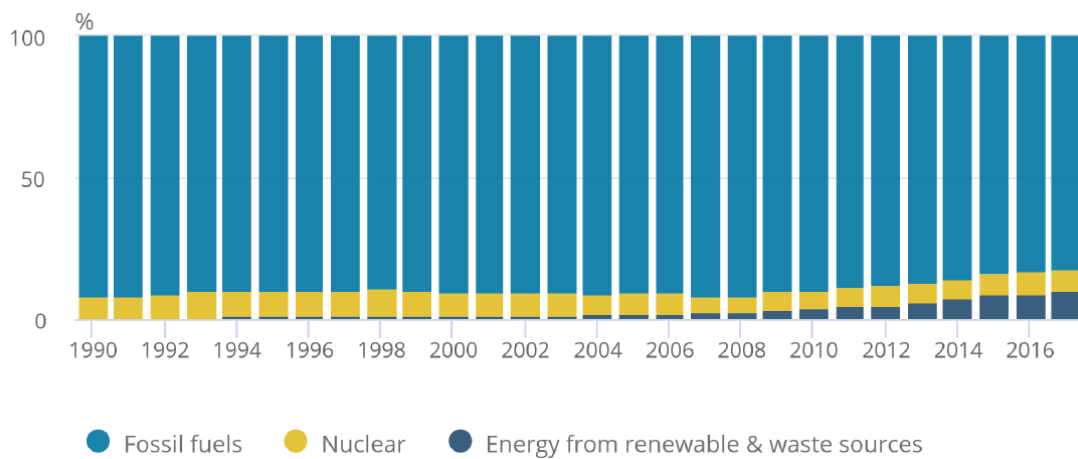
圖 4、1948 至 2016 年，英國各生產部門的產出佔 GDP 組成⁶



英國經濟體從工業轉型為服務的過程大幅降低了碳排放量，這是因為相較於製造業，服務業的碳集中度較低的緣故。

1990 至 2017 年間，英國石化燃料的能源消費下降 22%，同時可再生能源增加 1,267%，如圖 5：

圖 5、1990 年至 2017 年各類別之能源消費組成⁷



2019 年，英國的商業、能源及產業策略部(Department for Business, Energy and Industrial Strategy) 並指出減少將石化燃料作為發電的主要來源，在 1990 至 2017 年間，已減少了 130 百萬噸的 CO₂ 排放。雖然在 2017 年，可再生能源僅占總能源消費的 10%，但相較 1990 年的 1%已有大幅的改善。

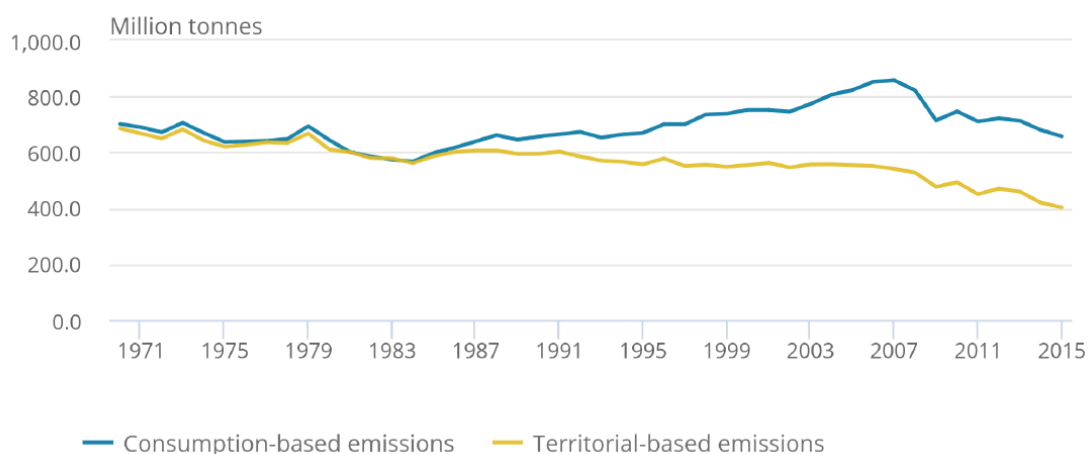
⁶ 同上，圖 5

⁷ 同上，圖 8



此外，由於許多國家藉著全球化將碳密集工業出口至低勞動成本國家，因此如何衡量隨著國際貿易的碳排放便成了另一項考慮因素，圖 6 是其中兩種用來衡量碳排放的指標：地域型碳排放(Territorial basis)及消費型碳排放(Residency and Consumption basis)

圖 6、1970 年至 2015 年不同衡量標準下的 CO₂ 排放⁸



該圖顯示 1970 至 1986 年，消費型碳排放平均僅約略多於地域型碳排放 0.2%。1986 年後，英國經濟開始從碳密集工業經濟轉型成服務導向經濟體，消費型及地域型碳排放缺口開始擴大，2007 年，該缺口達到高峰(37%地域型碳排放)，該圖也隱含著所謂的經濟成長與碳排放脫鉤不單單是政策的效果，同時也包含了製造業外移至開發中國家的影響。

日本學者 Yoichi Kaya 在 1990 年首次將指數分解應用在碳排放及能源使用之研究上，以了解指數背後驅動因子，KAYA 恆等式為國際上(如：國際能源總署, IEA、美國能源情報署, EIA)常用來探討二氧化碳排放來源之方法，該方法將二氧化碳排放的關鍵指標拆解為人口、人均 GDP、能源密集度及碳排放係數，其中能源密集度通常與產業結構有關、碳排放係數則跟能源結構有關，KAYA 方程式之組成如下：

⁸ 同上，圖 9



$$CO_2 = P \left(\frac{GDP}{P} \right) \left(\frac{TES}{GDP} \right) \left(\frac{CO_2}{TES} \right), \text{ where :}$$

$$P = \text{人口}$$

$$\frac{GDP}{P} = \text{國民生產毛額/人口}$$

$$\frac{TES}{GDP} = \text{能源密集度；總能源供應/國民生產毛額}$$

$$\frac{CO_2}{TES} = \text{碳排放係數；} CO_2 \text{ 排放量/總能源供應}$$

此外，若將 KAYA 方程式的左右兩式同除以人口，再分別取對數全微分轉變為成長率，則可得人均 CO_2 排放成長率等於人均 GDP 成長率+能源密集度成長率+碳排放係數成長率，整理如下：

$$\left(\frac{CO_2}{P} \right) = \left(\frac{GDP}{P} \right) \left(\frac{\text{能源總消耗量}}{GDP} \right) \left(\frac{CO_2 \text{ 排放量}}{\text{能源總消耗量}} \right) \text{ 左右同取對數得}$$

$$\ln \left(\frac{CO_2}{P} \right) = \ln \left(\frac{GDP}{P} \right) + \ln \left(\frac{\text{能源總消耗量}}{GDP} \right) + \ln \left(\frac{CO_2 \text{ 排放量}}{\text{能源總消耗量}} \right) \text{ 左右同全微分後得}$$

$$\frac{\Delta \left(\frac{CO_2}{P} \right)}{\frac{CO_2}{P}} = \left[\frac{\Delta \left(\frac{GDP}{P} \right)}{\left(\frac{GDP}{P} \right)} \right] + \left[\frac{\Delta \left(\frac{\text{能源總消耗量}}{GDP} \right)}{\left(\frac{\text{能源總消耗量}}{GDP} \right)} \right] + \left[\frac{\Delta \left(\frac{CO_2 \text{ 排放量}}{\text{能源總消耗量}} \right)}{\left(\frac{CO_2 \text{ 排放量}}{\text{能源總消耗量}} \right)} \right]$$

則在能源結構及產業結構不變下(假設能源密集度成長率及碳排放係數成長率為零下)人均 GDP 與 CO_2 成長將同向成長，而當兩者到達一定程度後，隨著國際及國內政策及規範的力量下，藉由產業及能源轉型達到能源密集度與碳排放係數成長率下降的現象，最後在經濟成長的同時也能伴隨碳排放下降的成果，此一關係似乎也能對應環境顧志耐的假說以及世界資源研究所、英國國家統計局報告所描述的脫鉤情形。因此，本文試圖以計量方法探究統計數據背後的經濟意義，尋找各個變數互動影響的因子並給予合理的經濟解釋。

綜合前面所述，綠色產業及能源轉型已然是國際趨勢，臺灣實難置身事外，必然在歐盟碳邊境稅等壓力下面對轉型壓力。我們希望能夠借鏡英國的經驗，了解轉型過程是如何影響國內石化產業及綠色產業？此消彼長間又是如何影響國內工業產出及經濟成長？



本文所要探究的問題如下：

- 1、各國家 GDP 成長與 CO₂ 排放之關聯性會如何隨時間變動？
- 2、而所謂的經濟與碳排放成長脫鉤，又有哪些因子驅動了兩者？
- 3、對於人均 CO₂ 排放及人均 GDP，時序上又是如何影響彼此？

第二章 文獻回顧

2-1 環境顧志耐曲線

Kuznets(1955) 提出了 Kuznets 曲線的概念，說明所得不均與人均所得間呈現倒 U 關係，意指國家於經濟發展早期階段，富人有大量投資機會，而廉價農村勞動力的湧入卻壓低了工資，此時所得的增加伴隨著所得分配的逐漸惡化；直至所得達到某一水準之後，人力資本的計提成為經濟增長的主要來源，所得分配將隨著所得增加而逐漸獲得改善。

Grossman and Krueger(1991)最早提出環境 Kuznets 曲線的概念，即指污染物排放有一隨著經濟發展呈現先升後降的模式，並在 1992 年世界發展報告(World Development Report)中提出。

Panayotou(1993) 使用來自開發中及已開發國家的森林砍伐和空氣污染的橫斷面數據並支持 EKC 假設。該研究顯示，環境退化（污染與資源耗竭）在人均收入低於 1,000 美元時更嚴重。人均收入在 1,000 至 3,000 美元間的國家，都經歷了從農村到都市、從農業到工業的顯著結構性變化。當國家的人均收入超過 10,000 美元並開始從能源密集型重工業開始轉型為服務業和資訊/技術密集型工業時，第二次結構轉型發生。該研究未拒絕 EKC 假設意味著在經濟成長的早期階段，國

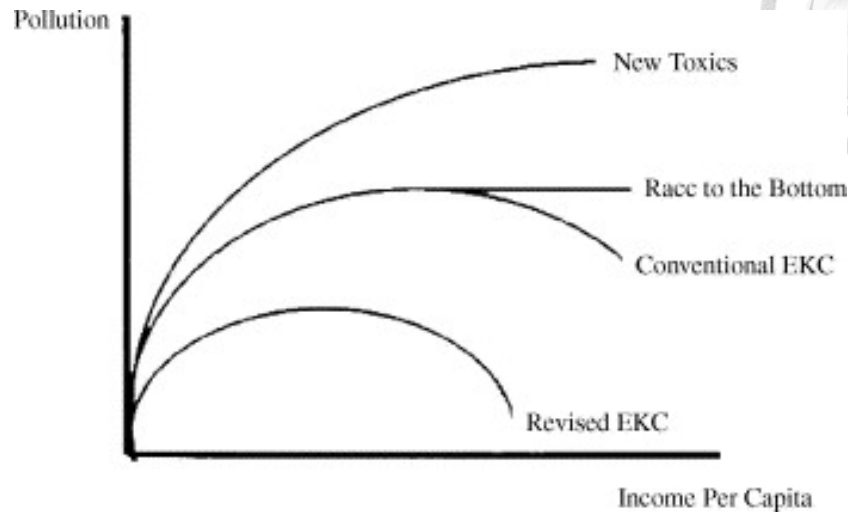
家發展路徑與環境退化存在一定的抵換關係，同時在後期階段由於經濟成長，對環境會有顯著的改善。並建議發展援助機構通過使環境保護成為其項目和政策融資的重要部分，幫助開發中國家在經濟發展的早期階段保護生物多樣性資源。

Arrow et al.(1996)在經濟成長與環境承载力中提到，一般認為經濟成長與自由貿易將有益於環境，但這種假設使得經濟政策通常忽視環境問題。而這種觀點使得人均收入與環境質量指標間呈倒 U 關係受到支持，該關係表示，隨著收入增加，環境惡化在一開始加劇，但在達到一定的收入水平後，環境質量會逐漸改善，較貧窮的國家較關注經濟成長，而較富裕的國家基於更高的生活水平而更關注環境品質。但該曲線的適用範圍有限，僅適用具有當地短期成本的特定污染物，並不適用於長期或可分散的標的(如碳排放)，一種污染物的減少可能導致其他污染物的增加，或是將污染物移轉至較貧窮地區或國家。

David I. Stern(2004)對環境顧志耐曲線 (Environmental Kuznets Curve , EKC) 進行了批判性文獻回顧。該文章提到開發中國家正在解決環境問題，有時會採用已開發國家的標準並表現得比某些富裕國家還好。過去文獻對經濟成長與污染物排放量可能存在四種轉換趨勢，傳統 Kuznets 曲線之倒 U 曲線可能發生在一些舊的污染物上(如硫化物、氮氧化物)但代替舊污染的新污染物(如 CO₂、致癌物)並不存在倒 U 型，當舊的污染物消滅後，新的污染物又出現，整體污染並不會下降。Race to the Bottom 指的是已開發國家會將污染物輸出至開發中國家的現象，開發中國家可能因為全球化的競爭壓力而允許污染進口。作者認為污染物與收入的關係可能類似 Dasgupta et al. (2002) 提出的兩個情境之一，如圖 7。整體曲線類似他們的“新毒素 EKC”，即排放隨收入增加而單調上升，但隨著技術進步，這條曲線開始往左下移動，類似他們的“修正 EKC”。在成長較慢的已開發國家，污染物減排的技术進步可以克服因人均所得增加所帶來的排放量；另對於成長較快的開發中國家，收入成長所帶來的污染物排放量可能會多過技術進步所能減少的排放量。



圖 7、環境 Kuznets 曲線之相對觀點




資料來源: Dasgupta et al. (2002) and Perman and Stern (2003).

2-2 經濟成長、碳排放與能源需求

Kraft, J. and Kraft, A. (1978)研究國民生產毛額(GNP)與能源消耗間的關聯性，採用 Granger 因果檢定研究美國 1947 至 1974 年 GNP 與能源消耗間之因果關係，結果發現美國在該期間 GNP 具有對能源消耗之單向因果關係。

James B. Ang(2007)使用共整合與向量誤差修正模型(VECM)研究法國在 CO₂ 排放、能源消耗及經濟成長間之動態因果關係。作者認為這些變數之間具有強烈的互動關係，必須採用綜合的框架來討論，結果顯示，在 1960 至 2000 年間，這些變數存在長期穩定的關係：經濟成長對能源消耗增長、CO₂ 排放增長具有長期因果關係；能源消耗增長對經濟成長亦存在短期單向因果關係。更多的能源消耗導致更多的 CO₂ 排放，CO₂ 排放與經濟成長在長期具有二次關係。

Narayan and Smyth(2008)以縱橫共整合(Panel Co-integration)及 Granger 因果關係檢定及長期結構估計等方法研究七大工業國家(G7)在 1972 至 2002 年間資本形成、能源消耗及實質 GDP 間的關係。該研究認為過去的研究對於能源消耗及 GDP 間的因果關係沒有明確共識。不同國家和地區的研究結果往往不同，可能是由於研究變數之時間跨度較短，導致單根和共整合的檢定不準確。為了克服時間



跨度較短的問題，該研究使用追蹤資料單根及共整合測試，並應用 Westlund (2006) 的縱橫共整合方法以考慮可能存在的多個結構性變化。結果顯示，資本生成、能源消耗和實質 GDP 間存在共整合關係，長期而言，資本生成和能源消耗對實質 GDP 產生正向影響，每增加 1% 能源消耗，實質 GDP 可增長 0.12% 至 0.39%；每增加 1% 的資本生成，實質 GDP 可增長 0.1% 至 0.28%。

Al-mulali and Sab(2012) 研究了 30 個南非國家能源消耗和 CO₂ 排放對 GDP 成長及金融發展的影響。該研究使用 1980 至 2008 年之追蹤資料(Panel Data)，結果顯示，能源消耗在這些國家的經濟成長和金融發展中扮演重要角色，但也帶來了高汙染。共整合檢驗結果中發現，能源消耗、CO₂ 排放與經濟發展、金融發展指標存在對數關係；另 Granger 因果檢定中顯示，能源消耗和 CO₂ 排放皆存在與經濟成長長期正向的因果關係、能源消耗和二氧化碳也有短期正向因果關係。

第三章 實證研究架構



3-1 研究架構

由於大多數 OECD 國家資料之碳排放及經濟成長資料自 1850 年後較齊全，本文以研究國家 OECD38 個會員國及其 5 大關鍵合作夥伴(中國、印度、印尼、南非及巴西)1891-2018 年資料為研究區間，並以 90 年為一個區段觀察人均 CO₂ 排放及人均 GDP 隨時間推移的動態關係(如圖 11)。

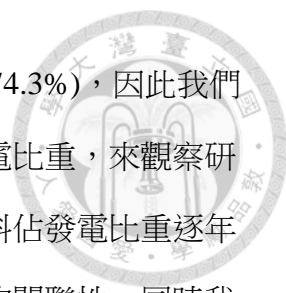
迴歸分析(Panel regression with interaction terms)，則以研究國家 1981-2018 年(因大多變數自 1980 年後始有資料)之追蹤資料，加入變數(Z_{it})與 GDP 之交作用項來觀察各變數(Z_{it})對研究國家 GDP 成長與 CO₂ 排放的影響，設定模型如下：

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO_{2it} = & \alpha_0 + \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \Delta \ln GDP_{it} + \beta_2 (\Delta \ln GDP_{it})^2 \\ & + \beta_3 (\Delta \ln GDP_{it}) * (\Delta \ln Z_{it}) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

其中， Z_{it} = ENG、FOS、REENG、IND、CBA、NS、GE、INF、UR、EPS 及 KOFGI 等變數，ENG 代表人均能源消費、FOS 為石化燃料佔發電比重、REENG 為能源消費之可再生能源比、IND 為工業產出占 GDP 比、CBA 為碳消費、NS 為淨儲蓄、GE 為政府支出、INF 為通膨、UR 為失業率、EPS 為環境政策指標及 KOFGI 為全球化指數。使用變數分別代表研究國家 OECD38 個會員國及 5 大關鍵合作夥伴於 1981-2018 年之能源結構、產業結構、總體經濟及國內外政策規範，分述如下：

在研究背景與動機中，我們從 KAYA 方程式得到“人均 CO₂ 排放成長率等於人均 GDP 成長率+能源密集度成長率+碳排放係數成長率”，並預期人均 GDP 與 CO₂ 成長呈正相關，而當兩者到達一定程度後，隨著國際及國內政策及規範的力量下，藉由產業及能源轉型達到能源密集度與碳排放係數成長率下降的現象。

根據世界資源研究所(WRI)之 2019 世界溫室氣體組成(圖 16)，世界溫室氣體



以 CO₂ 為大宗(占 74.1%)，而來源則以能源部門為主(總和約占 74.3%)，因此我們考量研究國家之能源結構，加入人均能源消費及石化燃料佔發電比重，來觀察研究國家碳排放係數的成長情形，並預期人均能源消費及石化燃料佔發電比重逐年增加的國家，將正向影響該國家碳排放與經濟成長年增率之間的關聯性。同時我們加入可再生能源佔能源消費之比重，來觀察國家能源轉型是否也降低該國家碳排放與經濟成長年增率之間的關聯性。

接著，我們考量研究國家的產業結構，加入工業產出佔 GDP 的比重，來觀察能源密集度的成長情形，並預期工業產出佔 GDP 的比重逐年增加的國家，該國家碳排放與經濟成長年增率之間的關聯性也會越強。

除了能源結構跟產業結構可能影響碳排放與經濟成長之間的關聯性，我們亦考慮了總體經濟變數，鑒於能源轉型短期可能因為對替代能源如天然氣等的需求上漲帶來通膨以及產業轉型可能造成的失業問題，我們預期能源轉型將降低碳排放與經濟成長之間的關聯性，但卻造成通膨的增加(即通膨與關聯性呈負相關)、產業轉型在降低碳排放與經濟成長之間的關聯性的同時，也帶來失業率的上升(即失業與關聯性呈負相關)。再者，政府支出的增加(擴大內需)所帶來的大型公共建設也會造成碳排放，我們預期其與碳排放及經濟成長年增率之間的關聯性將呈現正相關。消費與儲蓄則是一體兩面，與一國經濟發展息息相關，我們使用碳消費來捕捉一國消費商品所攜帶的碳足跡，並可從碳消費的變動觀察國家對碳商品的消費傾向，我們預期碳消費將會正向影響該國家碳排放與經濟成長之間的關聯性；儲蓄在資本充沛的已開發國家則可能長期不利於經濟發展，繼而對碳排放與經濟成長之間的關聯性有負向影響。

國內外政策規範的變數則蒐集了環境政策指標以觀察國家內部推動轉型對溫室氣體限制排放、替代能源補貼等政策，並預期環境政策指標不斷上升的國家，其內部重視轉型的規範將有助於降低該國家碳排放與經濟成長之間的關聯性；同時全球化指數則包含了一個國家在經濟、社會及政治全球化的程度，我們預期全

球化越高的國家，越有可能在產業及能源轉型的過程中，將碳排放轉嫁給低勞動成本國家的開發中國家，繼而降低該國家碳排放與經濟成長之間的關聯性。

最後，本文進一步整理 OECD38 個會員國及 5 大關鍵合作夥伴於 1851-2018 的年資料，針對人均 CO₂ 排放及人均 GDP 之年增率進行 Granger 因果關係的檢定，以了解該二變數在各國時序上的關聯性，檢定模型如下：

$$\begin{aligned}\Delta \ln \text{CO}_{2t} &= \alpha + \beta_1 \Delta \ln \text{CO}_{2t-1} + \dots + \beta_p \Delta \ln \text{CO}_{2t-p} \\ &\quad + \gamma_1 \Delta \ln \text{GDP}_{t-1} + \dots + \gamma_p \Delta \ln \text{GDP}_{t-p} + \varepsilon_t \\ \Delta \ln \text{GDP}_t &= \alpha + \beta_1 \Delta \ln \text{GDP}_{t-1} + \dots + \beta_p \Delta \ln \text{GDP}_{t-p} \\ &\quad + \gamma_1 \Delta \ln \text{CO}_{2t-1} + \dots + \gamma_p \Delta \ln \text{CO}_{2t-p} + \varepsilon_t\end{aligned}\quad (2)$$



3-2 資料敘述

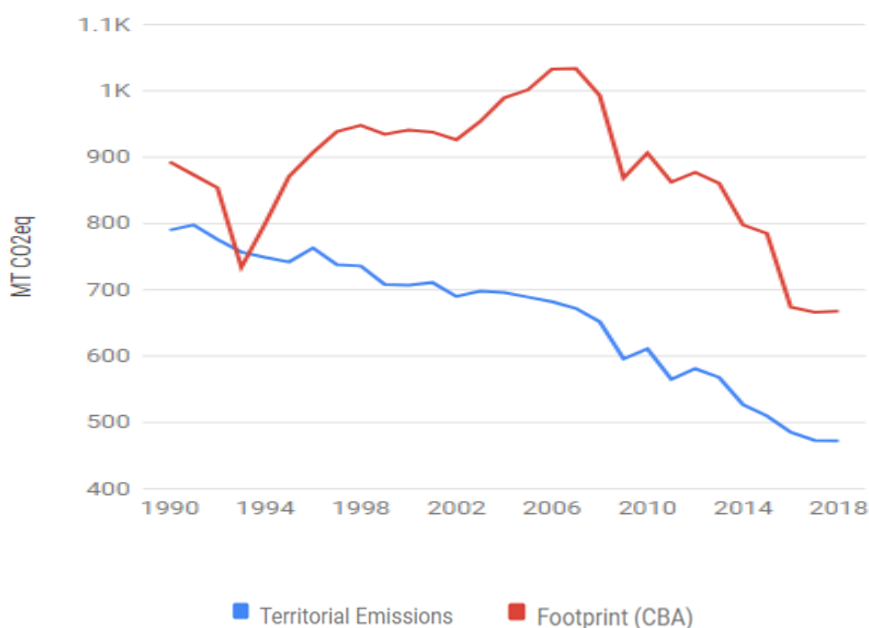
二氧化碳及溫室氣體資料庫(CO₂ and GHG Emissions Dataset)

為了能更長時間觀察各研究國家 GDP 成長與 CO₂ 排放關係隨著時間的變化，本文使用 Our World in Data 中二氧化碳及溫室氣體資料庫(CO₂ and GHG Emissions Dataset)，該資料庫匯集了全球碳計畫(Global Carbon Project，GCP)及美國二氧化碳訊息分析中心(Carbon Dioxide Information Analysis Center，CDIAC)所蒐集量化的資料，建立支援至 1959 年、部分國家可追溯至 1750 年之經濟成長及 CO₂ 排放年資料。

碳消費(Consumption-based accounting of emissions，CBA)

Eora 的全球供應鏈資料庫建立了全球多區域的投入產出模型，其中國際間的碳足跡資料庫量化了以消費為導向，作為商品進口及出口之一國最終需求的碳排放量。本文採用 Eora 的碳足跡資料來補足地域性排放的不足，並可從碳足跡及地區型碳排放的缺口觀察一國將碳工業外移的現象，以進一步了解碳排放全球化的情形，如圖 8：

圖 8、英國在 EORA 中的兩種 CO₂ 排放之時間序列資料





美國能源資訊管理局(U.S Energy Information Administration , EIA)

為了衡量研究國家之能源結構，本研究使用 EIA 的國際能源統計資料，包含各國家 1980 年後之電力消費、能源消費及煤、石油、天然氣及可再生能源的消費與發電用量，以觀察研究國家能源結構的變化。

國際貨幣基金組織(International Monetary Fund , IMF)

本研究使用 IMF 的 2023 年世界經濟展望資料庫(World Economic Outlook Database)，並考量研究國家自 1980 年後的總經變數，如：淨儲蓄、投資、政府支出及經常帳餘額佔 GDP%、通膨及失業率等，以觀察上述總經變數是否對 CO₂ 排放與經濟成長的關係有所影響。

工業產出及服務業產出佔比

為了衡量研究國家的產業結構變化，本文採用了世界銀行資料庫(Data Bank World Development Indicators)中工業產出及服務業產出佔 GDP%，該資料庫最早可提供至 1973 年的資料(惟項目過少，研究國家 43 國中僅有 15 國有資料)、至 1990 年有 23 國資料，1995 年 41 國資料，於 1997 年始有完整 43 國資料。

全球化指數 (KOFGI)

蘇黎世聯邦理工學院 (ETH Zurich) 出版的《KOF 全球化指數》衡量了全球 195 個國家經濟、社會和政治等面向自 1970 年後的全球化程度，本文使用該資料庫中之全球化指數及各子指數(社會全球化、經濟全球化及政策全球化)作為討論對象之一。該指數組成如表 2，各變數敘述詳表 11。



環境政策指標 (OECD Environmental Policy Stringency Index)

本研究使用經濟合作暨發展組織(Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD)資料庫中所編制的環境政策指標來衡量研究國家隨著環境政策的改變對其他變數的影響，較為可惜的一點是該指標僅有 OECD38 成員國及 5 大關鍵合作夥伴共 43 國於 1990 年後的資料，在時間跨度上受限較多。

該衡量標準分別考慮 43 國之市場指標(如溫室氣體排放稅及碳權等)、非市場指標(如溫室氣體及汙染物排放限額等)及技術支援(低碳科技研發費用、可再生能源價格補貼)，該環境政策指標組成如表 1：

表 1、環境政策指標之總合結構

第 1 層		第 2 層		第 3 層		占第 2 層 權重	整體指標 權重
0.33	非市場基礎 指標	1.00		氮氧化物排放 限制值	25%	8.25%	
				硫氧化物排放 限制值	25%	8.25%	
				懸浮微粒排放 限制值	25%	8.25%	
				硫排放限額	25%	8.25%	
0.33	市場基礎指標	1.00		CO ₂ 認證	16.7%	5.5%	
				可再生能源認證	16.7%	5.5%	
				CO ₂ 稅	16.7%	5.5%	
				NO _x 稅	16.7%	5.5%	
				SO _x 稅	16.7%	5.5%	
0.33	技術支援	0.50	上游支援	研發費用補貼	100%	16.5%	
		0.50	實行支援	太陽能價格補貼	50%	8.25%	
				風力價格補貼	50%	8.25%	

資料來源：OECD，本研究自行整理



3-3 敘述統計量

交互作用迴歸的控制變數(Z_{it})為 OECD38 及 5 大關鍵合作夥伴共 43 國，樣本期間為 1981-2018 年共 38 筆年資料的追蹤資料(Panel Data)。資料來源採用前一節所提到的各資料庫資料，由於部分變數在迴歸中並不顯著，故表 2 僅詳細列示顯著的各變數描述，顯著的變數分別來自二氧化碳及溫室氣體資料庫(Our world in data - CO₂ and GHG emission Dataset)，美國能源資訊管理局(EIA)，國際貨幣基金組織(IMF)以及 Eora 全球投入產出資料庫。

由於研究採用之變數均已年增率處理，故表 3 各變數之平均數即為各國在 1981 年至 2018 年之各變數平均年增率。

表 2、變數基本資料

代號	名稱	來源
CO2_P	人均 CO ₂ 排放	二氧化碳及溫室氣體資料庫
GDP_P	人均 GDP	(Our world in data - CO ₂ and GHG emission Dataset)
CBA	碳消費	Eora Global MRIO (multi-region input-output table)
ENG	人均能源消費量	美國能源資訊管理局
FOS	石化燃料佔發電比重	(U.S Energy Information Administration, EIA)
GE	政府支出	國際貨幣基金組織
NS	淨儲蓄	(International Monetary Fund, IMF)

表 3、變數敘述統計量

	平均數	中位數	最大值	最小值	標準差
人均 CO ₂ 排放	0.5093	0.4720	47.0332	-24.3025	5.6097
人均 GDP	2.3561	2.2363	21.6569	-15.7094	3.3242
碳消費	0.3343	0.3400	64.5426	-48.1853	6.1770
人均能源消費	0.8813	0.7926	30.1809	-23.9048	4.3915
石化燃料佔發電比重	4.1475	2.0194	619.802	-89.6453	29.2673
政府支出	0.3032	-0.1710	41.6542	-27.2028	5.4313
淨儲蓄	1.1982	0.3775	247.953	-81.6747	15.9717

第四章 結果與分析



4-1 交互作用回歸分析各國人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性

為了觀察人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性，本文先整理樣本國家(OECD 38 個會員國及 5 大關鍵合作夥伴(中國、印度、印尼、南非及巴西)於 1891-2018 的年資料，並以 $\ln(X)-\ln(Y)$ 繪製每 90 年之散佈圖(圖 11)。可以發現人均 GDP 與人均 CO₂ 排放在 $\ln(X)-\ln(Y)$ 呈現倒 U 上升的關係，並在 2000 年後開始有倒 U 的下降關係，這點亦符合前述文獻所述的環境 Kuznets 曲線關係。

為了能較好的解釋自變數與我們所欲討論的應變數的關聯性，本研究在交互作用回歸分析使用的自變數(如政府支出、通膨等)均以年增率處理(將所有變數取對數後全微分，即取對數一階差分的過程)，後續單根檢定顯示，所有變數均為原始定態且顯著(表 7 及 8)。可以看到，在年增率處理後，原始變數已十分顯著的情況下，再進行一階差分的意義不大，後續均使用控制變數之年增率進行討論。

在回歸分析中，本文蒐集樣本國家於 1981 年至 2018 年之能源結構、產業結構、總體經濟及國內外政策規範之變數，並將顯著變數之結果整理如表 9。

有關各變數預期效果及實證結果整理如表 4，並說明如下：

在人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性中， β_1 均為正值，交互作用項為正值($\beta_3 > 0$)有碳消費、人均能源消費量、石化燃料佔發電比重及政府支出等 4 個變數，顯示當這些變數之年增率增加時，對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放的關聯性有正向的影響，與我們原先預期相符；另外碳消費、人均能源消費量及石化燃料佔發電比重的 β_2 為顯著負值，顯示人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之正向關聯性呈抵減關係。

另外在人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性中， β_1 均為正值，交互作用項為負值($\beta_3 < 0$)則有淨儲蓄，顯示當淨儲蓄之年增率增加時，對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放的關聯性有反向的影響，這點也與我們原先預期相符。

能源消費之可再生能源比與通膨、工業產出佔 GDP 比與失業率等 4 個變數則不顯著，由於人均 GDP 與人均 CO₂排放的散佈關係在近 20 年始有明顯的下降趨勢(如圖 11)，推估產業轉型及能源轉型在近 20 年或是依環境顧志耐曲線的倒 U 下降(環境改善)階段的國家才有明顯的影響，整段樣本期間(1981-2018 年)同時涵蓋了上升及下降階段，因此不顯著，後續轉型對失業率及通膨的影響也不顯著。

最後環境政策指標及全球化指數，推估國內外政策規範在近 20 年或環境改善階段的國家才對產業轉型及能源轉型有較明顯的影響力，且作為內部及外部推動轉型的力量，在變數上可能須加入該產業及能源轉型變數一併考量，故環境政策指標及全球化指數對人均 GDP 與人均 CO₂排放之關聯性較無顯著直接關係。

表 4、Panel Least square (各國 1981-2018 年資料)

$$\Delta \ln CO_{2it} = \alpha_0 + \alpha_i + \alpha_t + \beta_1 \Delta \ln GDP_{it} + \beta_2 (\Delta \ln GDP_{it})^2 + \beta_3 (\Delta \ln GDP_{it}) * (\Delta \ln Z_{it}) + \varepsilon_{it}$$

T=1981-2018

	α	$\beta_1 \Delta \ln GDP_{it}$	$\beta_2 (\Delta \ln GDP_{it})^2$	$\beta_3 (\Delta \ln GDP_{it}) * (\Delta \ln Z_{it})$	Adjusted R-squared
人均能源消費	-1.1472	0.7889*** (0.0489)	-0.0487*** (0.0063)	0.0696*** (0.0065)	0.3375
石化燃料佔發電比	-0.9661	0.7166*** (0.0500)	-0.0130*** (0.0054)	0.0047*** (0.0012)	0.2904
能源消費之 可再生能源比	-0.9480	0.7074*** (0.0502)	-0.0115** (0.0054)	3.9E-05 (4.56E-05)	0.2833
工業產出占 GDP 比	-1.0242	0.7077*** (0.0502)	-0.0062 (0.0063)	-0.0065 (0.0042)	0.2842
碳消費	-1.0794	0.7643*** (0.0504)	-0.0273*** (0.0059)	0.0289*** (0.0047)	0.3021
政府支出	-0.9842	0.6989*** (0.0504)	-0.0059 (0.0062)	0.0104* (0.0059)	0.2845
通膨	-0.9490	0.7008*** (0.0509)	-0.0111** (0.0054)	0.0003 (0.0004)	0.2832

接下頁

表 4、Panel Least square (各國 1981-2018 年資料) (續)

	α	$\beta_1 \Delta \ln GDP_{it}$	$\beta_2 (\Delta \ln GDP_{it})^2$	$\beta_3 (\Delta \ln GDP_{it}) * (\Delta \ln Z_{it})$	Adjusted R-squared
失業率	-0.9724	0.7211*** (0.0554)	-0.0131** (0.0062)	-0.0008 (0.0013)	0.2831
淨儲蓄	-0.9729	0.7030*** (0.0501)	-0.0074 (0.0056)	-0.0046*** (0.0017)	0.2867
環境政策指標	-0.9550	0.7064*** (0.0503)	-0.0113** (0.0054)	0.0002 (0.0009)	0.2830
全球化指數	-0.9515	0.7015*** (0.0554)	-0.0112** (0.0054)	0.0032 (0.0136)	0.2830

觀察值合計 43 國*38 年，共 1489 筆年資料

註：1.顯著性以星號表示，分別為

P-value < 0.01(***)、P-value < 0.05(**)及 P-value < 0.1(*)

2.Beta 估計係數以粗體字表示

3.估計標準誤以括弧表示

表 5：各變數預期效果及實證結果整理

Z _{it} 變數	預期效果	實證結果
人均能源消費	+	+
石化燃料佔發電比重	+	+
能源消費之可再生能源比	-	不顯著
工業產出占 GDP 比	+	不顯著
碳消費	+	+
政府支出	+	+
通膨	-	不顯著
失業率	-	不顯著
淨儲蓄	-	-
環境政策指標	-	不顯著
全球化指數	-	不顯著



4-2 因果檢定

本節報告我們對樣本國家(43 國)1851 年至 2018 年對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放執行 Granger 因果檢定之實證結果。評選模型為使資訊評選準則(Information Criteria)的值越小越好的原則挑選落後期，在最大落後期為 12 期下，Akaike 資訊評選準則(赤池氏資訊準則，AIC)所選取的期數通常較 Schwarz 資訊評選準則(貝氏資訊準則，BIC)來得長：AIC 大多選取最適落後期 $k = 8$ 左右，而相對 BIC 幾乎選取最適落後期 $k = 1$ ，鑒於影響經濟成長及碳排放的能源結構及產業結構等可能非一年所能調整，且影響可能涵蓋景氣循環週期，故本節以 AIC 之最適落後期作為主要討論對象，同時，由於 BIC 所決定的落後期 \hat{p}_{BIC} 為真實落後期 p 之一致估計式，本文以 BIC 之最適落後期結果作為穩健度測試，相關結果整理如表 5。

最後，為了確保兩變數在 Granger 因果關係檢定中為定態時間序列，本節所使用之人均 GDP 與人均 CO₂ 排放均已年增率處理。

本節就四種關係分別整理並說明以下：(詳表 5)

人均 GDP 與人均 CO₂ 排放互相影響者計有德國、義大利、法國、日本、中國及南韓等 15 國：多為主要工業國家，工業發達而能源結構多仰賴化石燃料，其中中國化石燃料燃煤占比高達 8 成、南韓及日本化石燃料亦達 7 成，在 AIC 選取的落後期數為 8 期左右的情況下，產業結構工業成熟、能源高度依賴化石燃料的國家多存在人均 GDP 與人均 CO₂ 排放互相影響的反饋關係。

人均 GDP 領先影響人均 CO₂ 排放者計有美國、英國、加拿大、南非、印度及印尼等 15 國：產業結構包含主要工業國家和農業及勞動力密集產業的較低所得國家，能源結構亦有低碳及仰賴化石能源的國家，其中加拿大近 8 成為低碳能源，水力發電占 6 成、英國化石燃料則普遍達 8 成，僅近 20 年快速下降至 4 成水平、美國化石燃料達 7 成，核能則穩定占 2 成。這些國家在產業及能源結構上較無一致的特徵，考量經濟生產活動的熱絡可能會影響對能源的需求，進而影響對含碳能源的消耗量，加以生產及運輸活動均可能直接影響碳排放量，故在 AIC 選

取的落後期數為 8 期左右的情況下，呈現人均國內所得領先影響人均 CO₂ 排放。

人均 CO₂ 排放領先影響人均國內所得者計有智利、哥倫比亞、哥斯大黎加、冰島及愛爾蘭等 5 國：包含中所得的中南美洲國家以及高所得的歐洲海島國家，這些國家地緣上較為鄰近，其中智利及哥斯大黎加以水力發電為主要電力來源、冰島以水力及地熱發電為主，僅愛爾蘭以化石燃料占 9 成，惟近 20 年快速下降至 6 成，其中石化燃料多為天然氣，這些國家在能源結構上似乎不是碳排放的主要來源。智利經濟以礦業為主，出口近五成為礦產、哥斯大黎加逐步從農業轉型為旅遊及電子等零組件出口、冰島及愛爾蘭由於是海島國家，故為重出口導向貿易的國家，冰島自 1990 年代開始大量投資重工業煉鋁業；愛爾蘭工業出口亦占出口量的八成。這些國家在產業結構上，可能因為開採資源、加工出口及重工業的因素，故在 AIC 選取的落後期為 1-3 期的情況下，呈現人均 CO₂ 排放領先影響人均國內所得的關係。

人均 GDP 與人均 CO₂ 排放無領先影響關係者計有瑞士、瑞典、盧森堡及巴西等 8 國：多為高所得及低碳能源國家，其中瑞士以製造業及金融服務業為主，水力發電近 6 成而核能發電近 4 成，整體碳排放量少、瑞典以林業出口導向為主，水力發電占 4 成、核能 3 成、近 2 成風力發電，亦為低碳能源經濟體、盧森堡人均國民所得最高，以金融業為主，能源以低碳能源為主並高度仰賴電力進口、巴西擁有世界最大熱帶雨林，主要出口熱帶經濟作物及鐵礦，水力發電約占 6 至 8 成，風力發電及太陽能亦有 1 至 2 成左右。這些國家在產業結構上多為農、林業及金融服務業，相對污染較少且為自給自足的低碳能源結構或直接進口電力，整體碳排放量較少，故在 AIC 選取的落後期數為 1-2 期的情況下，呈現人均 CO₂ 排放與人均 GDP 彼此無影響的關係。

表 6：1851 年至 2018 年 GDP 成長率與 CO₂ 排放年增率之因果檢定整理

國家	期間 (年資料)	Granger Causality(AIC)	Granger Causality(SC)
		CO ₂ 對 GDP(年增率)	CO ₂ 對 GDP(年增率)
Australia	1861-2018	←	×
Austria	1871-2018	←	←
Belgium	1851-2018	↔	×
Brazil	1902-2018	×	×
Canada	1871-2018	←	←
Chile	1896-2018	→	→
China	1930-2018	↔	→
Colombia	1922-2018	→	↔
Costa Rica	1951-2018	→	→
Czechia	1971-2018	×	×
Denmark	1851-2018	×	×
Estonia	1981-2018	×	×
Finland	1861-2018	←	←
France	1851-2018	↔	×
Germany	1851-2018	↔	↔
Greece	1893-2018	↔	←
Hungary	1925-2018	↔	→
Iceland	1951-2018	→	→
India	1885-2018	←	←
Indonesia	1892-2018	←	←
Ireland	1925-2018	→	→
Israel	1951-2018	↔	↔
Italy	1862-2018	↔	↔
Japan	1886-2018	↔	×
Latvia	1981-2018	←	←
Lithuania	1981-2018	←	←
Luxembourg	1951-2018	×	×
Mexico	1896-2018	←	×
Netherlands	1851-2018	←	←
New Zealand	1879-2018	↔	×
Norway	1851-2018	↔	→
Poland	1930-2018	↔	↔
Portugal	1871-2018	×	←

(接下頁)

表 6：1851 年至 2018 年 GDP 成長率與 CO₂ 排放年增率之因果檢定整理(續)

國家	期間	Granger Causality(AIC)	Granger Causality(SC)
		CO ₂ 對 GDP(年增率)	CO ₂ 對 GDP(年增率)
Slovakia	1986-2018	↔	↔
Slovenia	1953-2018	←	←
South Africa	1951-2018	←	←
South Korea	1919-2018	↔	↔
Spain	1851-2018	←	←
Sweden	1851-2018	×	×
Switzerland	1859-2018	×	×
Turkey	1924-2018	↔	×
United Kingdom	1851-2018	←	→
United States	1851-2018	←	←

第五章 結論與建議



在各國人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關係中，樣本國家(OECD38 個會員國及 5 大關鍵合作夥伴中國、印度、印尼、南非及巴西) 1891 年至 2018 年人均國 GDP(X)與人均 CO₂ 排放(Y)之散佈圖在近 20 年均有明顯的下降趨勢。

同時在人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關係中，本文蒐集樣本國家於 1981 年至 2018 年之能源結構、產業結構、總體經濟及國內外政策規範之變數，透過交互作用之迴歸分析發現部分變數(如：碳消費、人均能源消費量、石化燃料佔發電比重、政府支出及淨儲蓄等)在考慮交互作用項回歸分析中，對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關係具有顯著的影響力，這點與我們預期一致。

其他不顯著的變數(能源消費之可再生能源比與通膨、工業產出佔 GDP 比與失業率等 4 個變數)，推估產業轉型及能源轉型在近 20 年或是依環境顧志耐曲線的倒 U 下降(環境改善)階段的國家才有明顯的影響，整段樣本期間(1981-2018 年)由於同時涵蓋了上升及下降階段，因此較無顯著影響力。

環境政策指標及全球化指數，則推估國內外政策規範在近 20 年或環境改善階段的國家才對產業轉型及能源轉型有較明顯的影響力，故環境政策指標及全球化指數對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性較無顯著直接關係。

本文在回歸分析的實證結果，未來亦可進一步依時間區分子樣本或依所得區分為環境顧志耐曲線上升及下降階段國家，以觀察各變數在不同階段所扮演的角色。同時，環境政策指標及全球化指數則可除了考量在前述樣本分割的階段中除能源結構及產業結構變數外分別加入環境政策指標及全球化指數，以考量該變數在不同階段對能源轉型及產業轉型的影響，及對人均 GDP 與人均 CO₂ 排放之關聯性之間接關係。

因果檢定中，人均 GDP 與人均 CO₂ 排放互相影響者多為主要工業國家(如德國、義大利、法國、日本、中國及南韓)，工業發達而能源結構多仰賴化石燃料。

人均國內所得領先影響人均碳排放者包含主要工業國家和農業及勞動密集產



業的較低所得國家(如美國、英國、加拿大、南非、印度及印尼)，能源結構亦有低碳及仰賴化石能源，這些國家在產業及能源結構上較無一致的特徵，考量經濟生產活動會影響對能源的需求，進而影響對含碳能源的消耗量，加以生產及運輸活動均會直接影響碳排放量，故呈現人均國內所得領先影響人均 CO₂ 排放的現象。

人均 CO₂ 排放領先影響人均國內所得者包含中所得的中南美洲國家以及高所得的歐洲海島國家(如智利、哥倫比亞、哥斯大黎加、冰島及愛爾蘭)，這些國家地緣上較為鄰近，能源結構上似乎不是碳排放的主要來源。在產業結構上，可能因為開採資源、加工出口及重工業的因素，而呈現人均碳排放領先影響人均國內所得的關係。


人均 GDP 與人均 CO₂ 排放無領先影響關係者多為高所得及低碳能源國家(如瑞士、瑞典、盧森堡及巴西)。這些國家在產業結構上多為農、林業及金融服務業，相對污染較少且為自給自足的低碳能源結構或直接進口電力，整體碳排放較少，故呈現人均 CO₂ 排放與人均 GDP 彼此無影響的關係。

本文並發現無論採赤池氏資訊準則或貝氏資訊準則，大致有一致的實證結果，惟相較於落後期數較短，當選取落後期數較長時，人均 GDP 及人均 CO₂ 排放有較明顯的領先影響關係，這關係則視國家的能源結構是否依賴化石燃料及產業主體是否會產生高污染而定。

本文在 Granger 因果檢定的實證結果，未來亦可進一步考慮各國在產業結構、能源結構的變化，以所得、產業及能源結構等區分為各個子樣本群組，觀察人均 GDP 及人均 CO₂ 排放是否呈現較為一致的領先影響關係。

另外許多國家在推動能源轉型的過程中，除了減少煤炭耗量外，短期間也大量增加了天然氣的需求以彌補能源缺口，2022 年因為烏俄戰爭導致能源天然氣、糧食等價格飆漲，對於綠色轉型的需求所推動的天然氣價格上漲以及能源轉型對通膨的影響，也可以是未來的研究方向。

鑒於歐盟即將推行碳邊境調整機制(CBAM)，希望藉由碳稅的機制使其他進



口國家負擔與歐盟境內產業相同的碳成本，避免產業外移至其他碳管制較寬鬆的國家(即碳排放全球化的現象)，未來在相關時間序列資料較充裕後，對於碳排放從已開發國家轉移至開發中國家的現象以及歐盟推行碳邊境調整機制前後，全球碳排放是否有改善現象？是否藉此加速進口國家能源及產業轉型等等，也可以是未來的研究方向。

最後，本文蒐集相關國外資料庫、研究資料等，期盼能以此拋磚引玉，使更多後進能投入相關領域研究，以其他先行者國家的經驗作為我國進行能源及產業轉型的效尤。

參考文獻



- [1]參加「2019 公部門綠色金融高峰會」報告(Public Sector Green Finance Summit 2019)，金融監督管理委員會(2019)
- [2]張志瑋.葛復光.柴蕙質.吳雨寰，以 KAYA 恆等式分析我國 2025 年減碳目標之能源結構策略可行性，台灣能源期刊 105 年 9 月 p259-275
- [3]何宜謀(2011)，二氧化碳排放、能源消耗及經濟成長之關係研究－以印尼和墨西哥為例
- [4]彭國昇(2020)，燃料進口量、碳排放與經濟成長之間的關係：來自台灣的實證研究
- [5]The green swan—Central banking and financial stability in the age of climate change，Bank for International Settlements(BIS)，January 2020
- [6]The decoupling of economic growth from carbon emissions: UK evidence，Office for national Statistics(ONS)，October 21, 2019
- [7] The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP，World Resources Institute (WRI)，April 5, 2016
- [8] Net Zero Review calls for views of British public，GOV.UK，September 29,2022
- [9] Binlin Lia. Nils Haneklaus(2022)，Reducing CO2 emissions in G7 countries: The role of clean energy consumption, trade openness and urbanization
- [10] Measuring environmental policy stringency in OECD countries: An update of the OECD composite EPS indicator，OECD，March 25,2022
- [11] Greenhouse Gas Emissions from Energy 2022，International Energy Agency
- [12] C. W. J. Granger(1969) “Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods” ，Econometrica Vol. 37, pp. 424-438
- [13] C.W.J. Granger, P. Newbold(1974)“Spurious regressions in econometrics”，



Journal of Econometrics Vol.2, pp.111-120

[14] Christopher A. Sims(1980)“Macroeconomics and Reality”, *Econometrica* Vol.48,pp.1-48

[15] David A. Dickey and Wayne A. Fuller(1979)“Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root”, *Journal of the American Statistical Association* Vol.74,pp. 427-43

[16] Peter C. B. Phillips and Pierre Perron(1988)“Testing for a Unit Root in Time Series Regression”, *Biometrika* Vol.75, pp. 335-346

[17] James H. Stock and Mark W. Watson(2001)“Vector Autoregressions”, *Journal of Economic Perspectives* Vol.15,pp.101-115

[18] Hiro Y. Toda and Taku Yamamoto(1995)“Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes”, *Journal of Econometrics* ,66,pp.225-250

[19] M. Hashem Pesaran , Yongcheol Shin and Richard J. Smith(2001)“Bounds testing approaches to the analysis of level relationships”, *Journal of Applied Econometrics*,16,pp.289-326

[20] Charles R. Nelson and Charles R. Plosser(1982)“Trends and random walks in macroeconomic time series: Some evidence and implications”, *Journal of Monetary Economics*,10,pp. 139-162

[21] Gideon Schwarz(1978)“Estimating the Dimension of a Model”, *The Annals of Statistics*,6,pp.461-464

[22] Gene M. Grossman & Alan B. Krueger (1991)“Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, *National Bureau of Economic Research, Working Paper No.3914*

參考網站

KOF Globalisation Index (KOFGI)

<https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html>

OECD Statistics

<https://stats.oecd.org/>

World Bank Open Data – World Development Indicators

<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Eora Global MRIO

<https://worldmrio.com/>

U.S. Energy Information Administration (EIA) – International Energy Statistics

<https://www.eia.gov/international/data/world>

International Monetary Fund(IMF) – World Economic Outlook Database2023

<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2023/April>

International Energy Agency(IEA) – Data and statistics

<https://www.iea.org/data-and-statistics>

Our World in Data

<https://ourworldindata.org/>

World Resources Institute (WRI)

<https://www.wri.org/>



圖 9、世界資源研究所分析 21 國碳排放及經濟結構轉型



Since 2000, More Than 20 Countries Have Reduced Annual GHG Emissions While Growing Their Economies



Sources: BP Statistical Review of World Energy 2015; World Bank World Development Indicators

圖 10、對數人均 GDP(美元)與對數人均碳排放量(噸)每 90 年之散佈圖

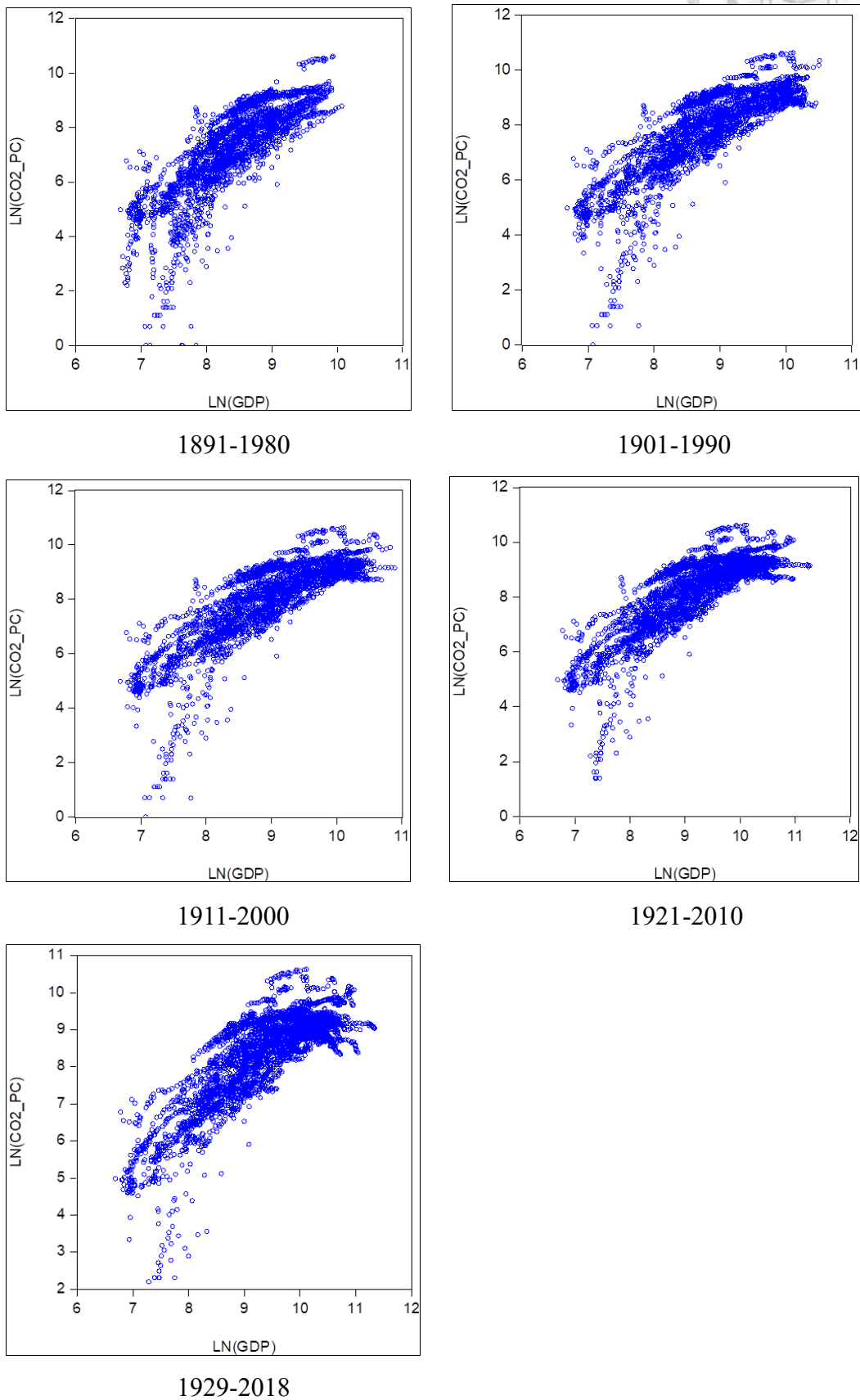


圖 11、對數人均 CO₂ 與對數人均 GDP 之散佈圖

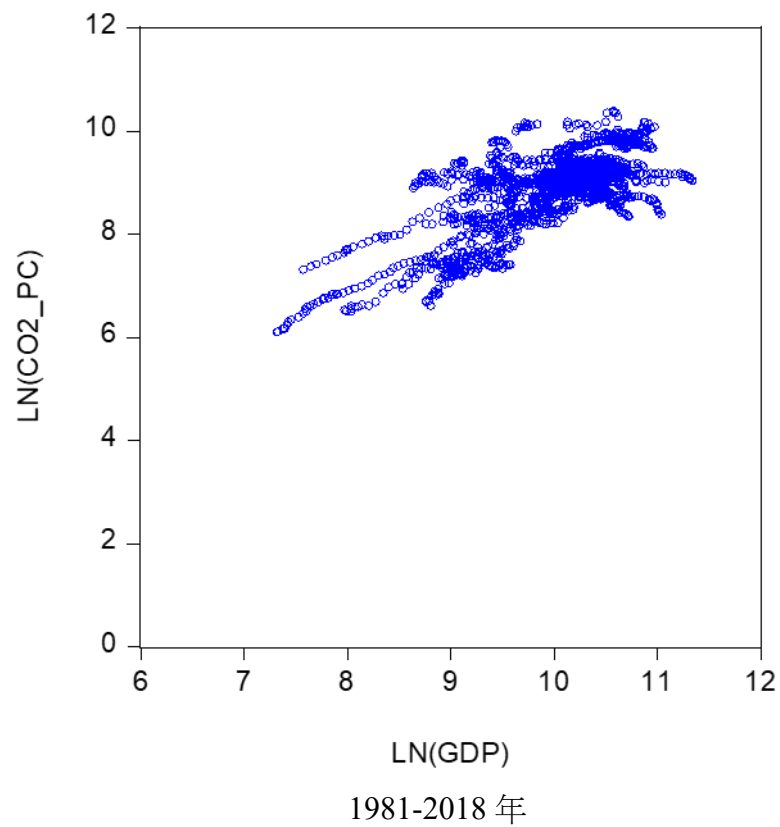
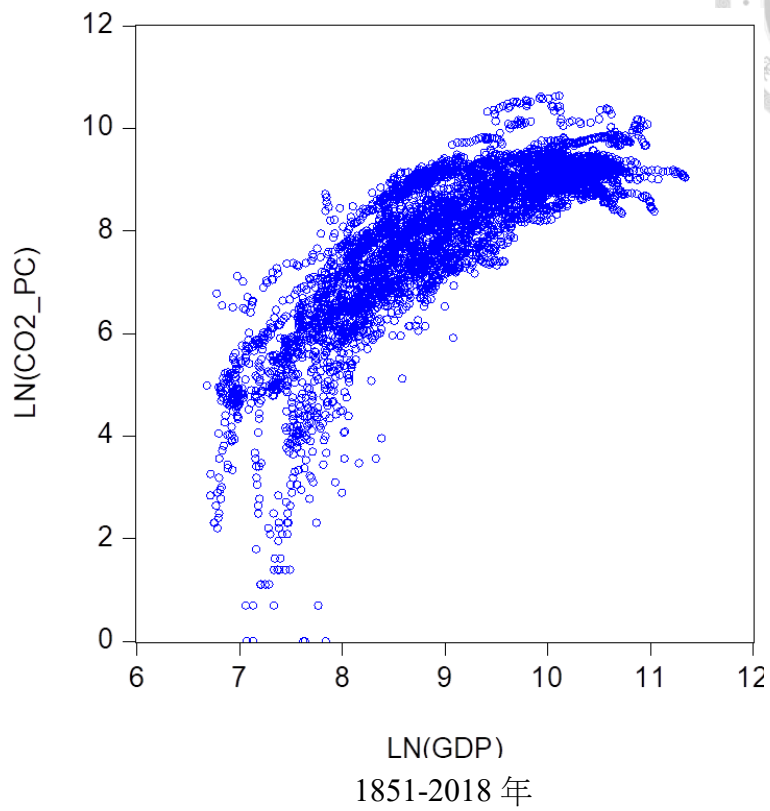
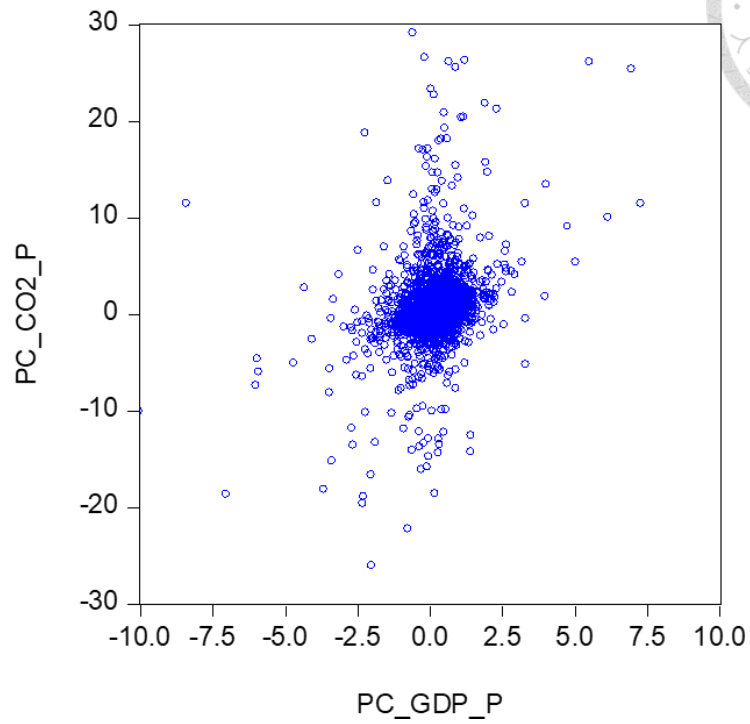
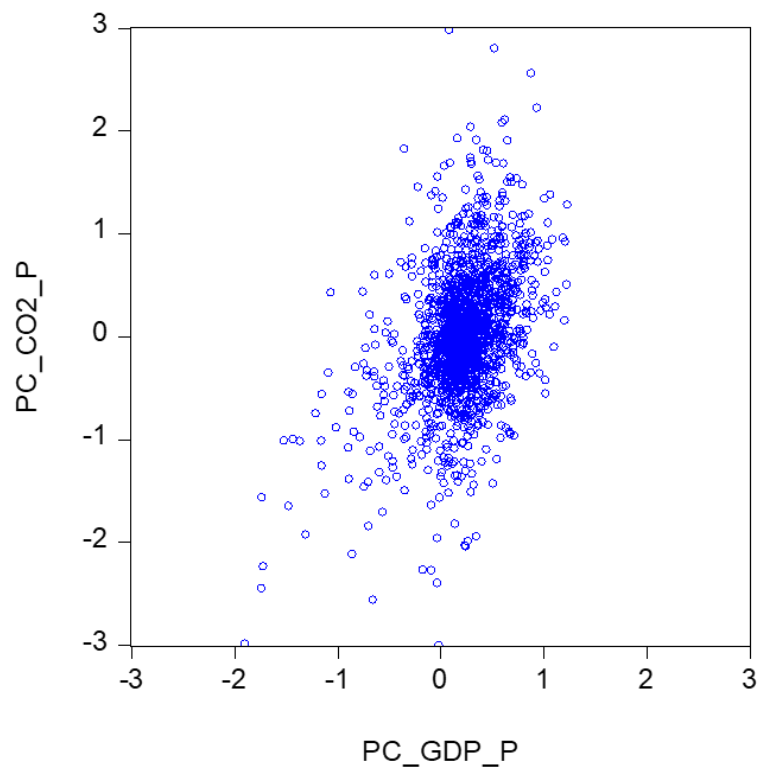


圖 12：研究國家人均 CO₂ 成長率與人均 GDP 成長率之散佈圖



1851-2018 年



1981-2018 年



圖 13、各國人均二氧化碳排放與人均 GDP 之散佈圖

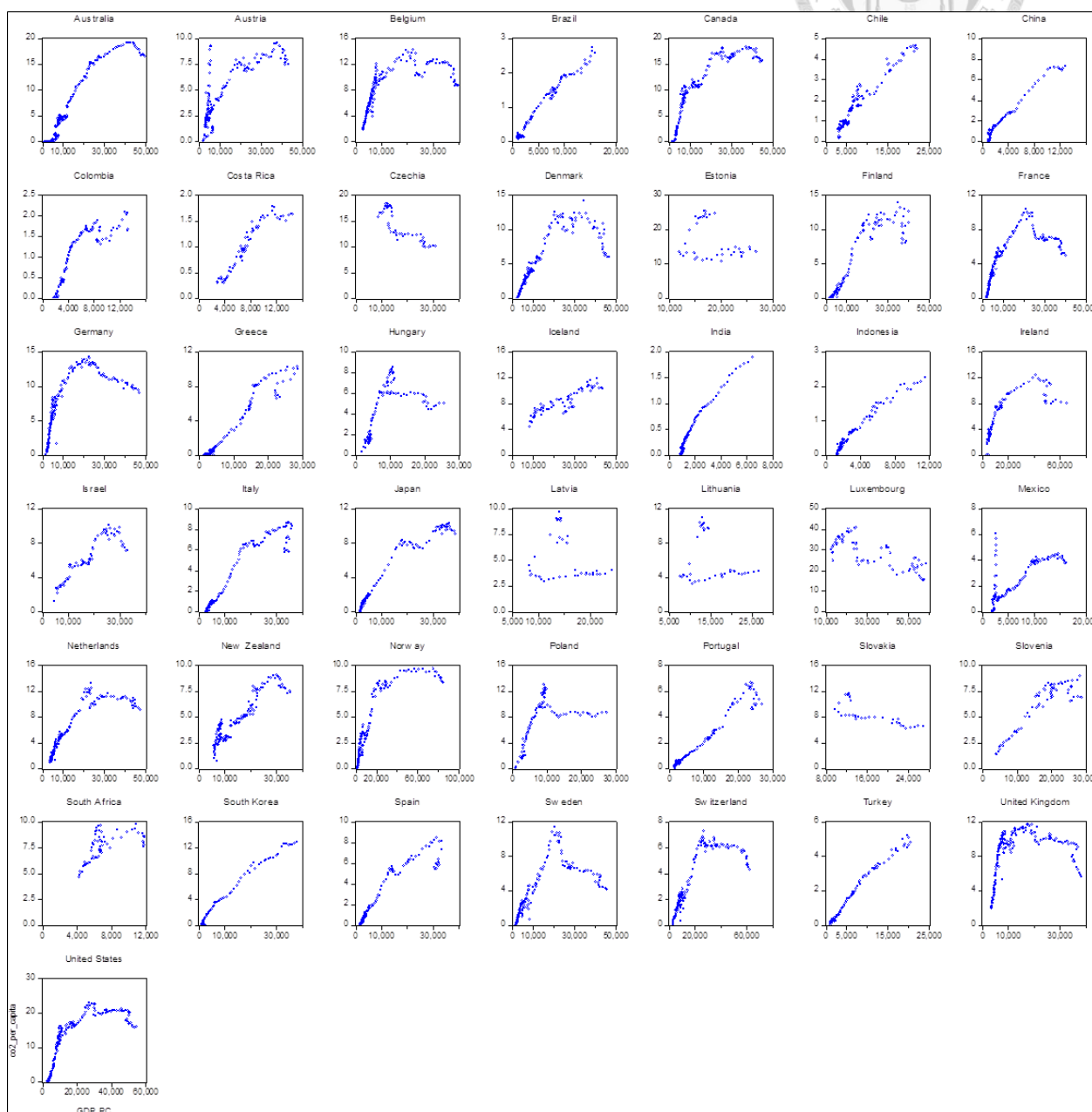




圖 14、各國人均二氧化碳排放及人均 GDP 之時間序列圖

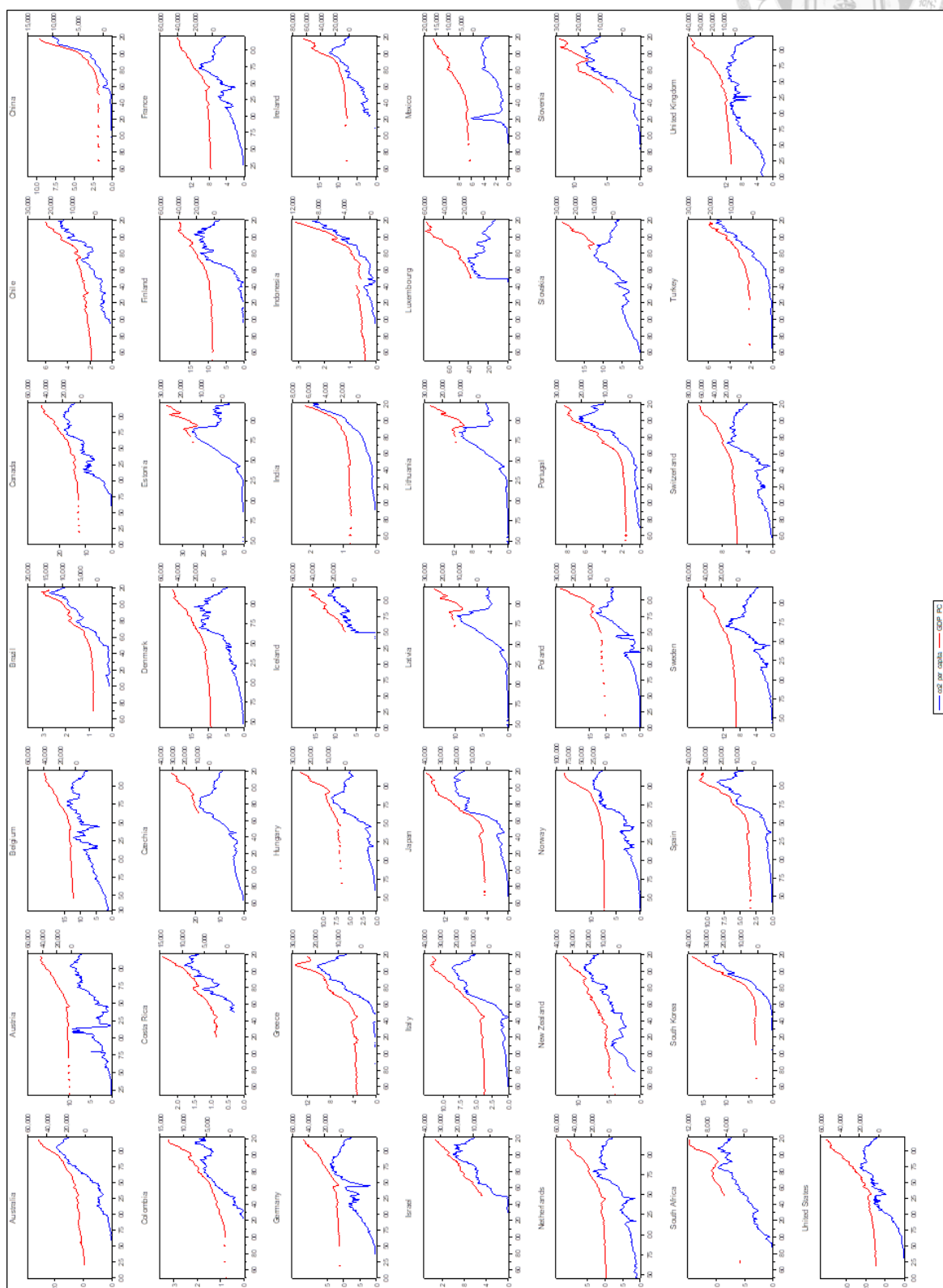
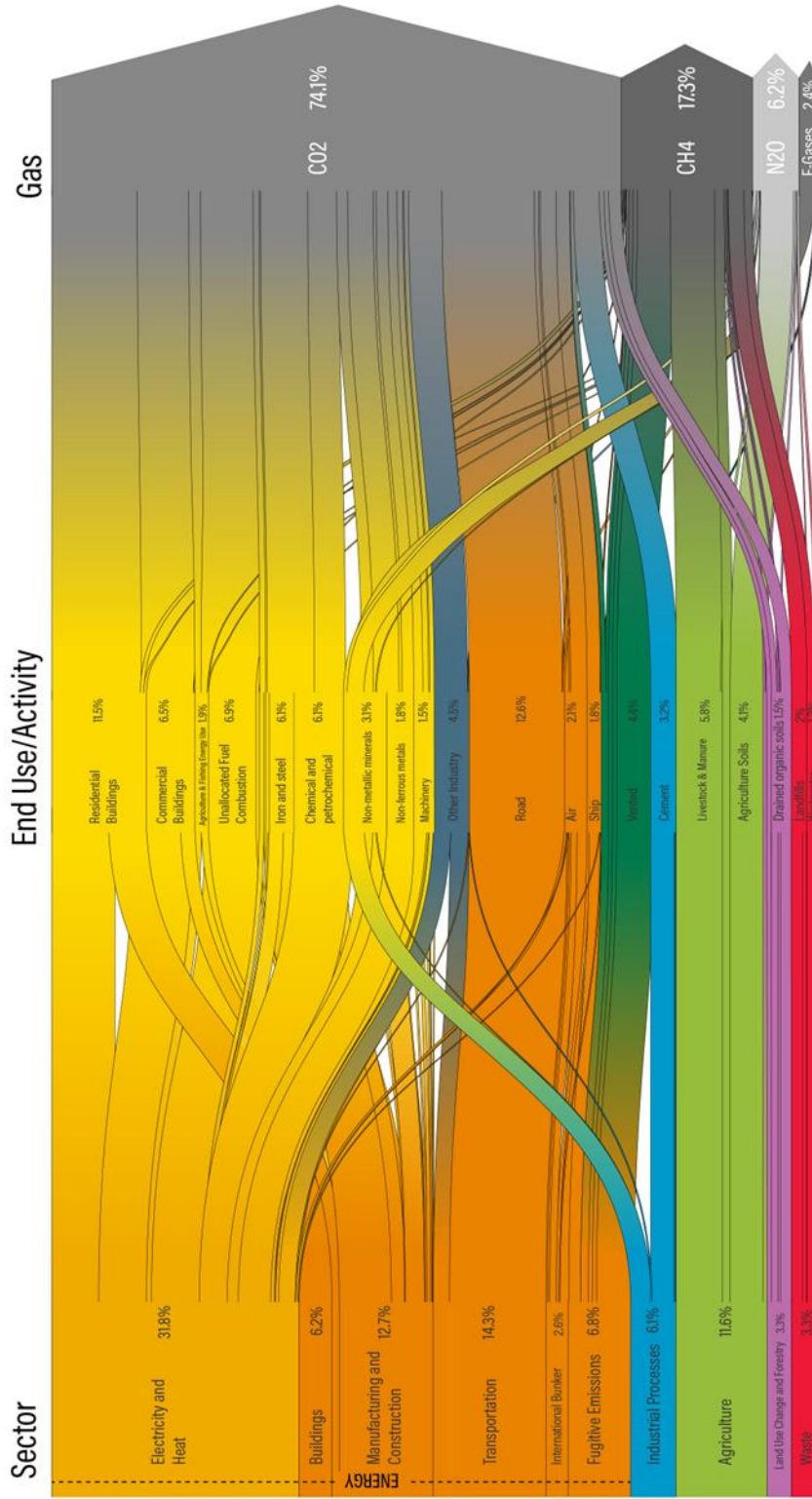


圖 15、世界資源研究所(WRI)-世界溫室氣體組成(2019)



World Greenhouse Gas Emissions in 2019 (Sector | End Use | Gas)


Total: 49.8 GtCO₂e



WORLD RESOURCES INSTITUTE

Source: Climate Watch, based on raw data from IEA (2021), GHG Emissions from Fuel Combustion, www.iea.org/statistics; modified by WRI.

表 7、世界資源研究所分析 21 國碳排放及經濟結構轉型



	Change in CO ₂ (2000-2014)%	Change in CO ₂ (2000-2014)Mt	Change in Real GDP (2000-2014)	Change in Industry Share of GDP (2000-2013)
Austria	-3%	-2	21%	-3%
Belgium	-12%	-20	21%	-6%
Bulgaria	-5%	-2	62%	2%
Czech Republic	-14%	-18	40%	-0.3%
Denmark	-30%	-17	8%	-5%
Finland	-18%	-11	18%	-9%
France	-19%	-83	16%	-4%
Germany	-12%	-106	16%	-1%
Hungary	-24%	-14	29%	-2%
Ireland	-16%	-7	47%	-9%
Netherlands	-8%	-19	15%	-3%
Portugal	-23%	-16	1%	-6%
Romania	-22%	-21	65%	-1%
Slovakia	-22%	-9	75%	-3%
Spain	-14%	-48	20%	-8%
Sweden	-8%	-5	31%	-4%
Switzerland	-10%	-4	28%	-0.3%
Ukraine	-29%	-99	49%	-10%
United Kingdom	-20%	-120	27%	-6%
United States	-6%	-382	28%	-3%
Uzbekistan	-2%	-2	28%	10%

表 8、單根檢定- ADF (各國資料)



ADF - Fisher	Individual effects		Individual effects, individual linear trends		None	
	T 值	Prob.	T 值	Prob.	T 值	Prob.
人均 CO ₂ 排放	912.19	0.0000	942.84	0.0000	1226.86	0.0000
人均 GDP	496.88	0.0000	418.45	0.0000	425.48	0.0000
碳消費	744.21	0.0000	615.88	0.0000	1061.52	0.0000
人均能源消費量	867.10	0.0000	1012.39	0.0000	1168.20	0.0000
石化燃料佔發電比	770.64	0.0000	795.37	0.0000	1221.71	0.0000
政府支出	672.94	0.0000	543.57	0.0000	990.12	0.0000
淨儲蓄	898.76	0.0000	759.12	0.0000	1334.65	0.0000

ADF – Fisher (First-Order Condition)	Individual effects		Individual effects, individual linear trends		None	
	T 值	Prob.	T 值	Prob.	T 值	Prob.
D(人均 CO ₂ 排放)	1246.37	0.0000	1871.38	0.0000	3804.12	0.0000
D(人均 GDP)	1070.3	0.0000	975.39	0.0000	1935.69	0.0000
D(碳消費)	1018.22	0.0000	1034.1	0.0000	2168.52	0.0000
D(人均能源消費量)	1225.67	0.0000	1652.82	0.0000	3290.89	0.0000
D(石化燃料佔發電比)	1029.06	0.0000	1126.26	0.0000	2240.08	0.0000
D(政府支出)	1035.23	0.0000	1223.67	0.0000	1991.69	0.0000
D(淨儲蓄)	1254.21	0.0000	2154.67	0.0000	3636.33	0.0000

表 9、單根檢定- PP (各國資料)



PP - Fisher	Individual effects		Individual effects, individual linear trends		None	
	T 值	Prob.	T 值	Prob.	T 值	Prob.
人均 CO ₂ 排放	1031.55	0.0000	2134.52	0.0000	1430.57	0.0000
人均 GDP	531.73	0.0000	762.21	0.0000	431.51	0.0000
碳消費	854.89	0.0000	1138.4	0.0000	1253.96	0.0000
人均能源消費量	954.26	0.0000	1766.54	0.0000	1373.18	0.0000
石化燃料佔發電比	1045.87	0.0000	2600.44	0.0000	2014.15	0.0000
政府支出	743.85	0.0000	839.58	0.0000	1037.81	0.0000
淨儲蓄	1074.18	0.0000	1616.29	0.0000	1800.91	0.0000

PP – Fisher (First-Order Condition)	Individual effects		Individual effects, individual linear trends		None	
	T 值	Prob.	T 值	Prob.	T 值	Prob.
D(人均 CO ₂ 排放)	1229.18	0.0000	9710.79	0.0000	8963.37	0.0000
D(人均 GDP)	1250.14	0.0000	6730.51	0.0000	6773.5	0.0000
D(碳消費)	1265.62	0.0000	7678.49	0.0000	7510.97	0.0000
D(人均能源消費量)	1523.52	0.0000	9300.86	0.0000	8590.07	0.0000
D(石化燃料佔發電比)	957.54	0.0000	10094.4	0.0000	9198.86	0.0000
D(政府支出)	2159.34	0.0000	5835.46	0.0000	4844.15	0.0000
D(淨儲蓄)	1446.69	0.0000	10133.6	0.0000	9283.27	0.0000



表 10、全球化指數之結構、變數及權重

全球化指數 (本質)	權重	全球化指數(法規)	權重
經濟全球化	33.3	經濟全球化	33.3
貿易全球化	50.0	貿易全球化	50.0
商品貿易	38.1	貿易法規	27.9
服務貿易	42.6	貿易稅賦	28.1
貿易伙伴多樣性	19.3	關稅	26.4
		貿易協定	17.5
財務全球化	50.0	財務全球化	50.0
外國直接投資	26.3	投資限制	30.6
投資組合	16.5	資本帳戶開放程度	38.8
外國債務	29.0	跨國投資協議	30.6
國際儲備	0.8		
國際收支	27.5		
社會全球化	33.3	社會全球化	33.3
人際往來全球化	33.3	人際往來全球化	33.3
跨國電話通訊	20.7	電話普及率	38.7
移轉性收支	22.2	訪問自由	32.7
國際觀光客	21.2	國際機場	28.6
國際學生	18.7		
移民	17.2		
資訊全球化	33.3	資訊全球化	33.3
網路頻寬用量	40.8	家戶電視使用	38.1
跨國專利	30.1	個人網路使用	43.5
高科技產品出口	29.1	媒體自由	18.4
文化全球化	33.3	文化全球化	33.3
文化產品貿易	27.4	性別平等	22.2
個人服務貿易	24.6	人力資本	41.7
國際商標	3.0	公民自由	36.2
麥當勞餐廳	24.4		
IKEA 店鋪	20.6		
政治全球化	33.3	政治全球化	33.3
大使館數	37.2	國際組織	36.5
聯合國維和任務	24.6	國際協議	32.6
國際非政府組織	38.2	協議伙伴多樣性	30.9

資料來源：ETH Zurich，本研究自行整理



表 11、2022 全球化指數之變數敘述

維度	變數名稱	變數定義	資料來源
貿易全球化 (本質上)	商品貿易	商品進口及出口(佔 GDP %)	World Bank WDI(2022)
	服務貿易	服務進口及出口(佔 GDP %)	同上
	貿易伙伴多樣性	商品進口及出口之平均 HHI (倒數) ; Herfindahl-Hirschman Index	IMF DOTS (2022)
貿易全球化 (法律上)	貿易法規	非關稅壁壘的普遍性及進出口法遵 成本的平均值	Gwartney et al. (2022)
	貿易稅賦	國際貿易稅收佔收入的百分比(倒數)	World Bank WDI(2022)
	關稅	關稅未加權平均值	Gwartney et al. (2022)
	貿易協定	雙邊及多邊自由貿易協定數量	Egger and Larch (2008)
財務全球化 (本質上)	外國直接投資	外國直接投資的資產與負債存量總 和(佔 GDP %)	Lane and Milesi-Ferretti (2018), IMF IIP (2022)
	投資組合	國際權益投資組合的資產與負債存 量總和(佔 GDP %)	同上
	外國債務	國際債券組合及銀行存放款的流入 流出存量總和(佔 GDP %)	同上
	國際儲備	不含黃金之外匯存底、特別提款權 SDR 及 IMF 的準備部位(佔 GDP %)	同上
財務全球化 (法律上)	國際收支	國外勞動和資本收入(佔 GDP%)	World Bank WDI(2022)
投資限制 資本帳戶開放 程度	投資限制	外資的普遍性及國際資本流動控管	Gwartney et al. (2022)
	資本帳戶開放 程度	金融開放指數 ; Chinn-Ito Index	Chinn, Ito (2006, 2008)
	跨國投資協議	雙邊投資協議及投資條款之數量	UNCTAD (2022)
人際往來全 球化(本質上)	跨國電話通訊	分鐘為單位的固定電話及行動電話 國際傳入傳出流量(佔人口%)	ITU (2021)
	移轉性收支	無對價關係之商品、服務、收入或金 融商品之毛流入及流出(佔人口%)	World Bank WDI(2022)
	國際觀光客	國際觀光客的出入境(佔人口%)	同上
	國際學生 移民	交換學生或外國學生數量(佔人口%) 國外出生或外國居民數(佔人口%)	同上 同上
人際往來全 球化(法律上)	電話普及率	固定及行動電話用戶數(佔人口%)	同上
	訪問自由	被要求外國遊客須申請簽證的國家 百分比	Czaika et al. (2018) and IATA (2019)
	國際機場	提供至少一班國際航班的機場數量 (佔人口%)	ICAO (2022)

(接下頁)



表 11、2022 全球化指數之變數敘述(續)

維度	變數名稱	變數定義	資料來源
資訊全球化 (本質上)	網路頻寬用量	以每秒 bit 數為單位的國際網路頻寬使用總量(佔人口%)	ITU (2021)
	跨國專利	非居民透過國家專利局或專利合作協議申請之專利(佔人口%)	World Bank WDI (2022)
	高科技產品出口	美元計價之高研發強度產品出口(佔人口%)	同上
資訊全球化 (法律上)	家戶電視使用	擁有電視的家戶比率(佔人口%)	ITU (2021)
	個人網路使用	使用網路的個人(佔人口%)	World Bank WDI(2022)
	媒體自由	媒體法律環境、影響報導的政治壓力及影響新聞資訊取得的經濟因素	Freedom House (2020a)
文化全球化 (本質上)	文化產品貿易	依據聯合國教科文組織定義之文化產品之進出口(佔人口%)	UN Comtrade (2021)
	個人服務貿易	個人、文化及娛樂服務之進出口(佔人口%)	IMF BOPS (2021)
	國際商標	非居民透過智慧財產局申請註冊商標佔所有申請之比例	World Bank WDI(2022)
	麥當勞餐廳	麥當勞餐廳數量(佔人口%)	McDonald's
	IKEA 商場	IKEA 商場數量(佔人口%)	IKEA
文化全球化 (法律上)	性別平等	公私立學校初等教育的入學女生對男生比例	World Bank WDI(2022)
	人力資本	以平均教育年限及教育報酬率衡量之人力資本指標	Feenstra et al. (2015) / Penn World Table 9.1
	公民自由	對言論和信仰、集會結社權利、法治及個人權利等量化	Freedom House (2022b)
政治全球化 (本質上)	大使館數	國內之大使館數量	Europa World Yearbook
	聯合國維和任務	對聯合國安全理事會任務的個人貢獻(佔人口%)	UN Department of Peacekeeping Operations
	國際非政府組織	在該國執行國際非政府組織(NGO)業務的數量	Yearbook of International Organizations
政治全球化 (法律上)	國際組織	國家為成員的國際跨政府組織數量	CIA World Factbook
	國際協議	自 1945 年後，經國家最高立法機構簽署通過之國際條約	United Nations Treaty Collection
	協議伙伴多樣性	簽訂不同雙邊投資協定(BITs)的夥伴國家數	UNCTAD (2020)

資料來源：ETH Zurich，本研究自行整理