

# 臺灣邁向 2025 非核家園在環境<sup>1</sup>、 能源、經濟之競合分析

陳俊智、包曉天\*

## 摘要

本研究利用生態系統模型及 1980-2016 年的資料，分析臺灣的環境、能源、經濟之競合狀態。研究結果發現，臺灣的再生能源需仰賴經濟及其他能源消耗的輔助來進行建置；環境方面，碳排放依然會隨著經濟成長而增加，可能成為經濟成長的阻力；核能可以減少碳排放且同時促進經濟成長，填補發展再生能源過渡期對經濟的影響；因此，核能的存廢占有重要的角色。本研究建議維持穩定的核電占比、提升天然氣占比、並輔以新再生能源（風及太陽能）發電的能源結構，是可以兼顧能源安全、環境保護、及不傷害經濟成長，進而達到永續發展的有效綠色經濟政策之一。

## 一、前言

全球暖化、2 攝氏度兩個名詞從 20 世紀後逐漸受到各國的重視，聯合國在 1988 年成立了「政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」後，氣候變遷（Climate Change）議題更成為了產、官、學爭相研究的顯學；對於氣候變遷的說法各方意見迥然不同，主張為人類活動造成的學派認為：氣候變遷主要來自於暖化，暖化現象可以分為兩個時期，分別為世紀初至 1940 年代，僅部分區域有明顯的氣溫上升；1970 年代至今，則是全世界多數的區域都出現了暖化現象。根據 IPCC（2014）的報告指出，在過去 25 年，暖化速率為 100 年上升攝氏 1.77 度，為 1906-2005 年間上升速率的 2.8 倍。IPCC 更預估到 2100 年時，地表均溫高達攝氏 3.7-4.8 度，且海平面隨著融冰上升 28-29 公分。在 IPCC 報告的推播下，搭配美國前副總統高爾的影片——「不

<sup>1</sup> 環境：以碳排放（CO<sub>2</sub>）做代理變數。

\* 陳俊智，國立交通大學管理科學系博士生；包曉天，國立交通大學管理科學系教授。

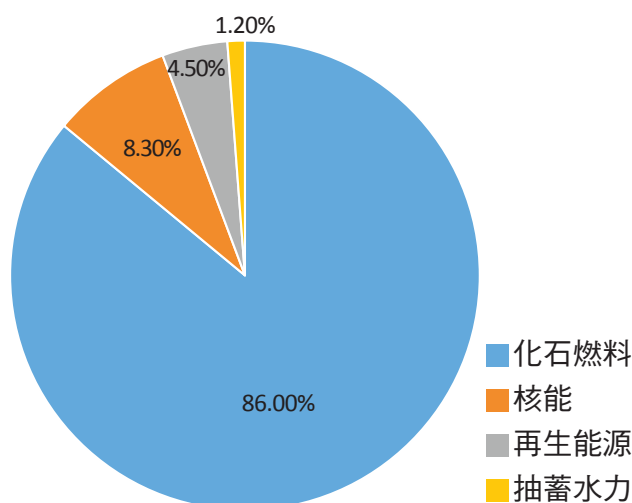
願面對的真相」，更撼動了全世界的閱聽者（許晃維，2015）。相反的，有另外一派學者對於暖化的見解則是認為，太陽活動、地球本身變化在氣候模式尚未完善前，許多自然活動無法透過電腦來進行模擬四十億年來的變化。

即便真正變化的主因仍待科學證實，但在工業革命後，各類型的能源使用逐漸增加，例如：煤炭、石油等。透過能源來生產、刺激經濟成長，在人類對於經濟成長需索無度的情況下，各式溫室氣體因而產生，例如：二氧化碳（Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>）、一氧化二氮（Nitrous Oxide, N<sub>2</sub>O）、甲烷（Methane, CH<sub>4</sub>）等。二氧化碳又被視為影響氣候變化的元兇，若要能夠有效控制全球平均升溫在 2°C 以內（International Energy Agency, IEA 2009），須將 CO<sub>2</sub> 濃度控制在 450ppm 以下；要有效抑制 CO<sub>2</sub> 的排放量，唯有透過控制能源使用、增進能源效率，才能達此目標。臺灣目前正面臨能源轉型時刻，如何要能同時減少碳排放，並達到能源成功轉型，且顧及產業發展，成為重要的研究議題。

臺灣的國內生產毛額（Gross Domestic Product, GDP）為世界排名第十九名，是一個高度依賴出口的經濟體，製造業為主要產業，未來則以 AI 智慧機械產業、5G、醫療器材、半導體等，以高科技產業作為主要發展目標，而高科技產業具有高耗能的特性；在能源方面，以火力發電（82.20%）為主，其次為核能（11.40%）、再生能源（4.90%）、水力（1.40%）（臺灣系統發購電量結構，2018）。碳排放從 1990 年的 138.09 百萬公噸二氧化碳當量，上升到 2016 年的 293.12 百萬公噸二氧化碳當量，成長了 112.26%，以工業占比最高 49.78%，由此可以見臺灣在經濟成長的情況下，伴隨著大量化石能源消耗和碳排放（行政院環保署，2019）；又臺灣政府在 2017 年將廢除核能納入立法，減少能源多樣、自主性的優勢，連帶影響了能源安全、碳排放、和經濟發展（Energy, Emissions, Economy; 3-E）。本文藉由數據分析，探討臺灣 3-E 間之競合關係，並提出因應之政策建議。

### （一）能源現況

臺灣是一個高度依賴能源進口的國家，其中 98.02% 依賴進口，根據經濟部能源局 2018 的資料，我國主要進口能源又以化石能源（93.60%）占最大宗，分別為液化天然氣、原油及石油產品、煤及煤礦產品。而化石燃料又為臺灣主要電力來源的能源供給（圖一）。為方便讀者對各類能源有更進一步的了解，文章將各項能源之優劣，例如：成本、對環境影響、系統風險（安全存量），整理如表一。



圖一：2017 臺灣能源結構（經濟部能源局，2018）

表一：能源類型與其優缺點（張瓊之，2018）

能源類型	優點	缺點	系統風險（安全存量）
石油	發電啟動迅速，需求場域較小	成本較高，對環境影響大	安全存量 90 天
天然氣	啟動至全載迅速，空汙排放較少	儲存槽選址、擴建不易，成本高	儲存槽容量 15 天
煤碳	儲量豐富、便宜，空汙嚴重	CO <sub>2</sub> 排放嚴重，對環境影響大	安全存量 30 天
核能	相對便宜，不排碳、無空氣汙染	對於核電廠安全要求較高，核廢料置放問題	一批核燃料可使用 1.5 年
再生能源	來自於自然界：風、太陽能…等；不排碳、無空氣汙染	不穩定為其特點，建置後成本需較久時間才能回收	儲能系統尚待開發，尚無法有效供電

透過表、圖一可知，目前臺灣主要能源建立在碳排放較為嚴重、安全儲量較少的能源類型上，易受到國際情勢動盪之影響，在此情況下能源安全勢必受到相當大的考驗，能源安全可透過三大指標來進行判斷，文章將目前臺灣能源安全現況簡述如下（梁啟源，2018）：

### 1. 初級能源供應：針對能源進口（來源、集中度）國風險和自身能源結構

在能源供應集中度方面，主要能源（天然氣、石油）進口國家主要為卡達、中東地區為主，屬於政治經濟風險較高的區域；目前臺灣初級能源占比以石油和煤炭為主，約 80%。且總能源使用逐年漸增加，在核能占比減少 2.50%（2011-2017）的情況下，多以石油、煤炭作為空缺填補（增加 2.20%，2011-2017）。

### 2. 基礎設施安全指標：考量電力、各類能源系統安全建設品質與可靠度

在核一、二逐漸除役的情況下，能源缺口的填補造成能源供應的壓力；另外，在天然氣接收站方面，目前臺灣僅有兩座，年利用率為 103%，相較於

韓國的 6 座，年利用率僅 37%，受到氣候（颱風）的影響導致進口中斷的機率較高。除上述大型建設遭遇困難外，中電北送的問題尚未解決，更嚴峻的情況亦可能產生。

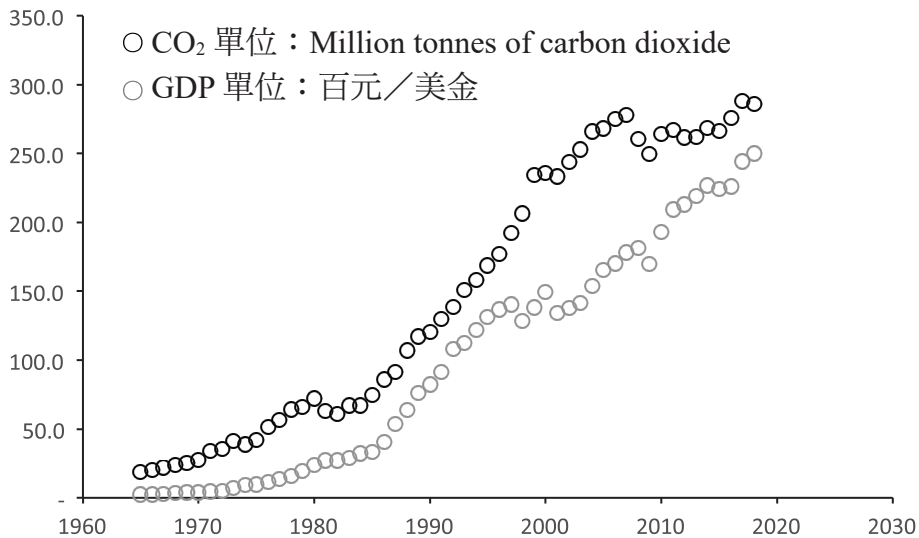
### 3. 能源消費安全指標：能源消費結構、使用效率、價格

在 98% 進口能源的情況下，國際能源價格波動造成的影響甚巨；在太陽能、風能增加的情況下，再生能源的成本逐漸提高；電力密集度方面，相較於 2018 年同期第一季，下降了 0.03（公升油當量／千元），顯示能源效率有提高的趨勢。

透過能源安全指標發現，臺灣在初級能源、基礎能源兩項指標仍具有改進的空間，基礎能源指標僅能透過能源多樣性來解決，而基礎設施方面則有賴政府與民間溝通的智慧，建置儲存槽，來提升各項能源之系統安全。

## （二）經濟、碳排放與當前政策

出口為臺灣主要經濟命脈，憑藉著優異的工業技術，在全球分工體系占有一席之地，2017 年川普上任後以「美國利益」為前提的保護主義政策及反全球化思維，以及中美貿易戰的影響，導致全球製造業重新布局新基地；在本國製造業傾向回流的环境背景下，臺灣的產業勢必需要更多的能源投入，來滿足產業需求。對於經濟發展似乎是轉機，但對於能源進口大國臺灣來說，能源需求壓力增加，隱含著碳排增加，我們可以從圖二的人均國內生產毛額（GDP）和碳排



資料來源：BP Statistical Review of World Energy June 2019、行政院主計處 2019

圖二：1965-2018 CO<sub>2</sub>、GDP 趨勢圖

放(CO<sub>2</sub>)的逐年趨勢圖(1965-2018)發現,兩者近乎呈現相同的走勢,人均GDP近十年(2009-2018)年複合成長率為4.40%,碳排放為1.52%。相較於前一個十年(1999-2008)碳排放的年複合成長率1.18%,碳排放年複合成長率略微增加,亦可能為臺灣空汙增加主因(孫明德、陳世憲,2017)。在要求經濟持續成長、碳排放要減少的情況下,能源政策的制定就顯得相當重要,也考驗政府的智慧。

臺灣雖然不被聯合國所承認,但針對幾次的重要氣候談判會議,臺灣政府亦提出相因應的對策,在2015年提出了溫室氣體減量法案,主要目標為:國家溫室氣體長期減量目標為2050年溫室氣體排放量降為2005年排放量50%,並參考聯合國氣候變化綱要公約與其協議,可適時調整。雖然此目標的訂定有助於綠色經濟發展,但也造成了臺灣能源配當上的壓力,特別是政府提出「拚經濟」的方向下,此一減碳目標更需要納入能源安全考量,才能同時穩定減碳與提升經濟。

在能源轉型政策方面,臺灣政府於2016年立法,提出了2025的非核家園政策,並以20%再生能源、燃氣50%、燃煤30%作為發電結構配比,提高了化石燃料占比為80%;若同時要減少碳排放、廢除核能、產業維持發展的情況下,民間團體提出了「以核養綠」的概念,期能在綠能發展完備前,給予臺灣能源系統喘息的時間。在再生能源推動上,政府在2017-2020年預計達成1,334MW的「風力發電四年推動計畫」發展離岸風電,太陽光電在「太陽光電兩年推動計畫、綠能屋頂全民參與」的計畫下,再生能源總裝置容量已經從2015的4,330MW裝置容量成長到2019的7,006MW,成果卓越。

全球暖化是人類重要的課題,暖化帶來破壞性災害,例如:熱浪、乾旱、洪水、超級風暴等。處於能源轉型的臺灣在為暖化訂定了溫室氣體減量法案,但另一面卻又提升化石燃料的使用,兩者間產生了矛盾;臺灣政府在考量能源轉型之餘,應納入碳排放、經濟成長之考量,結合跨部門的合作,來進行整體能源轉型政策擘劃。

## 二、經濟、能源、碳排放(3Es)之競合分析結果

在廢核、減碳的能源轉型政策下,研究採用1980-2016年之年資料,以三個變數:碳排放(CO<sub>2</sub>)、各類能源(化石、核能、再生能源)和人均國內生產毛額(GDP)建立模型,分為四個主要模型分別為:化石能源—國內生產毛額—碳排放、核能—國內生產毛額—碳排放、再生能源—國內生產毛額—碳排放、化

石能源—核能—再生能源。透過以上四組模型來探討各種能源在碳排放、經濟所扮演的角色。

分析利用美國生態學者 Lotka、義大利數學家 Volterra 所共同提出的 Lotka-Volterra 模型來進行，此模型目前用於人力經濟活動、動態競爭情況之描述，其成果豐碩 (Pingzhou & Gopalsamy, 1997; Pistorius & Utterback, 1996)。研究將四個模型之結果分述如下：

### 模型一、化石能源—人均 GDP—碳排放

此模型發現，提升化石能源的使用造成碳排放增加 (+)，以及人均 GDP 增加 (+)；碳排放增加對於人均 GDP 會造成負向影響 (-)，人均 GDP 增加正向影響碳排放 (+)。此模式結果符合目前臺灣現狀，化石能源使用增加，會增加人均 GDP、碳排放；碳排放增加則會減少人均 GDP，推測經濟發展受到碳排放後果所帶來的損失，例如：極端氣候、空氣汙染。

### 模型二、核能—人均 GDP—碳排放

此模型發現，人均 GDP 增加時會造成核能使用減少 (-)，當碳排放增加時會增加核能使用增加 (+)，人均 GDP 和碳排放關係則和模型一結果相同。此模式結果符合目前臺灣現狀，當人均所得提高時，開始考量核能所帶來的危害，對於核能的使用會趨於保守，進而減少使用。

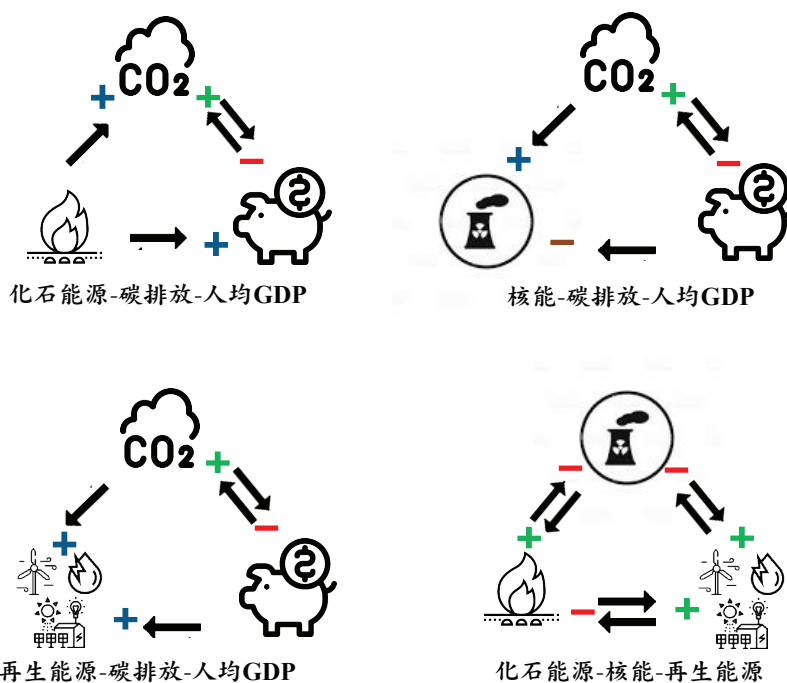
### 模型三、再生能源—人均 GDP—碳排放

此模型發現，人均 GDP 增加時會造成再生能源使用增加 (+)，但再生能源對於人均 GDP 則無影響，當碳排放增加時會增加再生能源使用 (+)，人均 GDP 和碳排放則和模型一結果相同。此模式結果符合目前臺灣現狀，當人均所得提高時，開始考量再生能源對於環境的好處，對於再生能源的使用、投入會逐漸增加。

### 模型四、化石能源—核能—再生能源

此模型發現，石化能源使用增加會造成核能使用減少 (-)，核能使用增加時會提升石化能源的使用 (+)；石化能源使用增加會促進再生能源使用增加 (+)，再生能源使用增加則會減少石化能源的使用 (-)；當再生能源使用增加會減少核能使用 (-)，核能使用增加會增加再生能源使用 (+)。三種能源間呈現相互競爭及共構的動態的關係，核能使用的情況也符合臺灣現況，在兩種 (石化、再生) 能源的增加下，使用逐漸減少。

以上結果顯示碳排放的使用增加確實會帶來經濟成長上的危害（碳排放對人均 GDP 的負向影響），核能、再生能源為可以控制碳排放的工具（碳排放會導致核能、再生能源使用增加），再生能源的使用仍仰賴資金投入，尚未能夠對經濟成長帶來助益（人均 GDP 成長帶動再生能源使用，反之則無影響），核能隨著人均 GDP 成長逐漸減少中（人均 GDP 成長導致核能減少使用），臺灣為化石能源驅動經濟的國家（化石能源成長帶動人均 GDP 成長）。



圖三：各類能源（化石、核能、再生能源）— 碳排放 — 國內生產毛額模型

### 三、結語

臺灣仰賴 98% 的能源進口，以化石燃料為主要經濟成長動能，在溫室氣體減量法、廢除核能立法後，對於能源系統壓力逐漸增加，在減碳、廢核同時實施的情況下，對於能源安全勢必造成衝擊，文章透過數據更進一步證實，再生能源發展尚未能成為刺激經濟主要動能，再減少核能情況下，對電力基載、經濟發展、碳排放所產生的能源空缺，也勢必是臺灣政府即將面臨的艱困課題。本文從能源多樣性（含 renewable energy）、提升能源效率降碳密度和經濟發展等方向提出不影響經濟發展的綠能政策之建議：

### (一) 能源安全、多樣性

從基礎設施安全指標可以發現，若臺灣政府要以天然氣作為主要能源供應，天然氣接收站的設置、數量仍遠落後於日、韓，目前預計設置的第三接收站仍在環境評估上有異議，若要能夠提高安全存量以及因應能源轉型策略，政府當局應妥善與環保團體溝通，或另選場址，加速接收站設置。在能源多樣性方面：核能似乎是臺灣目前可以減少碳排放和銜接再生能源的較佳方案，期政府能以專業角度進行分析衡量，建立環境、產業、經濟成長下的整體能源策略。

### (二) 公共政策

除硬體建設外，軟體上的政策也可成為調節能源使用的工具，例如：化石燃料補貼降低、碳交易制度、綠色稅制、擴大民眾參與、耗能產業衝擊性評估……等。筆者認為擴大公民參與，給予民眾正確的能源知識，政府須扮演知識推廣者的腳色，與民眾溝通，循序漸進地進行能源轉型。

### (三) 再生能源

透過數據可以發現，新能源（風、太陽能）仍未成氣候，尚需要投資或建置，但同時需要搭配智慧電網系統導入，利用電網資訊，建立彈性的供電模式，在尖峰負載時進行調整，補足再生能源先天不穩定的缺陷。在再生能源產業鏈方面，人才的訓練、研發的能量，也須納入再生能源計畫的一部分，由基礎設施的點，串起智慧的網，人才的面，三者共存，才能建立起完整的再生能源產業，永續發展。

## 參考文獻

- 許晃雄 (2015)。〈全球暖化的科學爭議〉，[https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/knowledge\\_expert\\_view.aspx?kid=20150624104853](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/knowledge_expert_view.aspx?kid=20150624104853)。
- 孫明德、陳世憲 (2017)。〈臺灣製造業全球布局趨勢〉，《產業雜誌》第 564 期，頁 17-24，中華民國工業總會。
- 梁啟源 (2018)。〈臺灣能源安全指標（一〇七年第一季）〉，<http://rcted.ncu.edu.tw/cci/1070627%20%E8%87%BA%E7%81%A3%E8%83BD%E6%BA%90%E5%AE%89%E5%85%A8%E6%8C%87%E6%A8%99v3.pdf>。
- 張瓊之 (2018)。〈能源轉型行不行？臺灣能源轉型的挑戰〉，<https://www.slideshare.net/DoEnergy/20180329-100844018>。
- 經濟部能源局 (2018)。臺灣能源結構。
- 台灣電力公司 (2018)。臺灣系統發購電量結構。
- 行政院主計處 (2019)。<https://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=33338&ctNode=3099&mp=1>。

圖 3 來源：<https://www.freepik.com/> °

Pingzhou, L., & Gopalsamy, K. (1997). On a model of competition in periodic environments. *Applied mathematics and computation*, 82(2-3), 207-238.

Pistorius, C. W., & Utterback, J. M. (1996). A Lotka-Volterra model for multi-mode technological interaction: modeling competition, symbiosis and predator prey modes, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology (MIT).

BP Statistical Review of World Energy June, 2019, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.