



臺灣碳生產力指標： 生產導向及消費導向觀

◎劉哲良／中華經濟研究院綠色經濟研究中心 副研究員

◎敖家綱／中華經濟研究院綠色經濟研究中心 輔佐研究員

國家溫室氣體排放量之計算，將因所採取的觀點而有所差異，進而衍生出不同層次的管理意涵。本文針對生產及消費導向的排放計算原則進行區辨說明，並應用這些原則來進行臺灣近年碳生產力變化趨勢、以及與幾個重要國家的比較分析。

關鍵詞：國家碳足跡、生產及消費導向排放計算、碳生產力

Keywords: National Carbon Footprint, Production/ Demand-based Emission, Carbon Productivity

生產及消費導向概念下的溫室氣體 排放量計算

在全球氣候變遷管理的脈絡下，溫室氣體排放量的計算，除了立基於「透明度」原則的「測量、申報、驗證」（Measurement, Reporting and Verification, MRV）議題探討之外，另一個衍生的重要問題，即是與各國排放量流向相關的責任探討。而排放量的計算方式，也在此一脈絡之下扮演了一個重要角色。目前國際上對於國家層次（national level）溫室氣體排放量之計算，主要是以「生產過程」所帶來的排放量（包含燃料使

用的排放、製程排放等）做為計算基礎，對應所得出的排放量稱之為「生產導向的排放量」（production-based emission）。舉例而言，〈聯合國氣候變化綱要公約〉（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）中的《國家排放清冊》（Annual National Inventory Report），即是以此種原則做為各國溫室氣體排放量統計之基礎。

然而，部分國家的政府與研究者認為，該國生產的產品並非全因內需所發生，要求其承擔所有排放責任並不合理。為了克服生產者責任觀點之限制，以解決競爭力與碳洩

漏 (carbon leakage) 等議題的一種方法，即是站在「需求消費角度」考量全球貿易鏈產生的碳流動 (carbon flows) 來計算各國的排放量，更能反映各國溫室氣體排放流向的實際情形。此一觀點支持者的理由在於，許多經濟發展中國家尚需依靠扮演世界生產者的角色來支持發展；其生產者，事實上有絕大部分是為了滿足世界其他國家的消費需求。也因此，排放量的計算應歸因至終端需求 (end use) 以特定國家的消費需求為依據。站在此一觀點所計算的排放量，定義為「消費導向的排放量」 (consumption-based emission)。而此概念落實在國家層次的排放量計算時，也稱之為「國家碳足跡」 (national carbon footprint) (Department for Environment Food & Rural Affairs, UK, 2018; Wiedmann等人, 2008)。

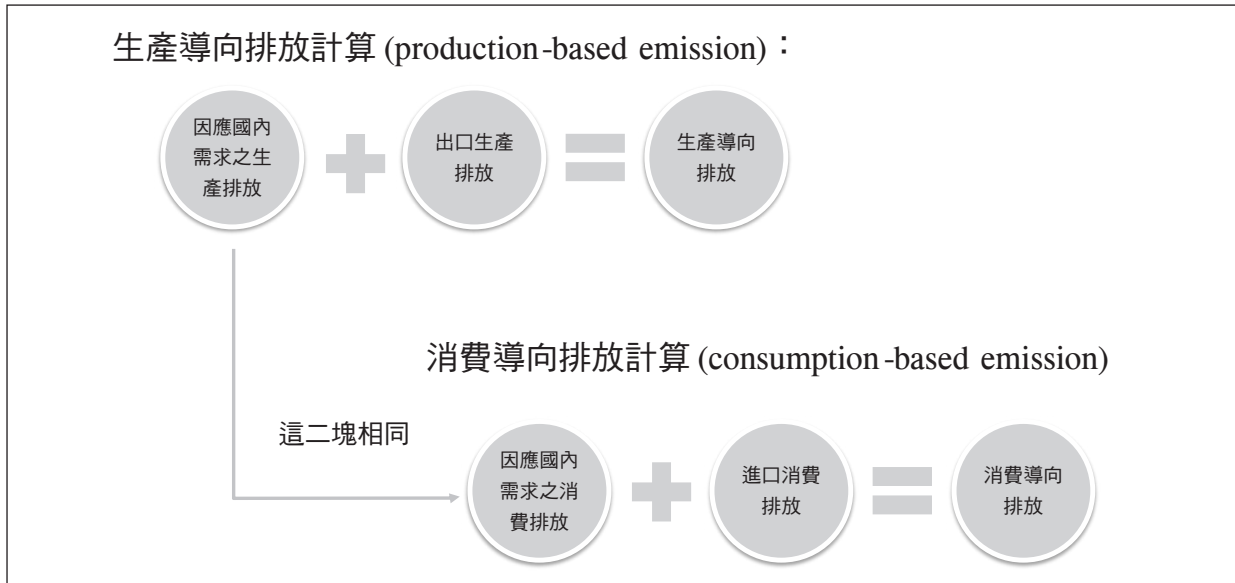
簡言之，「生產導向的排放量」主張當地生產造成的排放量為整體排放計算範疇；而「消費導向的排放量」則強調實際消費需求所產生之排放做為計算之依據。兩者之差異來自於前者之排放包含出口至其他國家產品之排放，後者則排除出口產品之排放、並將進口產品排放責任納入該國。基於上述不同觀點的排放及流向計算結果，一方面成為國際氣候談判中對於國家減量責任討論的論述方向之一，另一方面，也影響單國之內減量政策工具的選擇 (Afionis等人, 2017; Boitier, 2012; Davis & Caldeira, 2010; Dawkins & Croft, 2017; IPCC, 2015)。

自從生產導向及消費導向的排放計

算觀念被提出後，許多國家及國際組織亦改變原有僅計算生產導向排放量之呈現方式，開始將消費導向的排放量做為標準化例行的統計計算工作，例如經濟合作發展組織 (OECD)、英國等。除此之外，在這種差異性排放計算的基礎之上，也衍生出了許多不同的加值應用，例如「國家碳足跡」、「全球價值鏈資料庫」 (Global Value Chain Database)、「城市碳足跡」 (City Carbon Footprint)、以及在溫室氣體排放量之外，加入其他自然資源計算考量的「資源足跡」 (Resource Footprint) 等相關延伸應用 (Moran等人, 2018; United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD, 2018)。這些研究主要採用上述二個不同的排放計算原則 (區分生產及消費導向)，但聚焦於不同尺度 (國家尺度、城市尺度、區域尺度、跨國尺度等) 的應用探討，展現了差異排放計算原則下所可能開展出來的管理議題。在這些議題之中，碳生產力 (carbon productivity) 是一個國家尺度下的重要觀察指標，用以檢視整體經濟結構是否朝向低碳、永續的方向前進，值得進一步進行闡述。

碳生產力指標的定義及意涵

碳生產力定義為「每單位溫室氣體排放所對應的國內生產毛額 (GDP)」，是一個重要的效率衡量指標，基本計算方式呈現如 (1) 式。由於存在不同的排放計算方法，因此碳生產力指標也區分為「生產導向的碳生



資料來源：行政院環境保護署（2018），《務實參與氣候公約及因應巴黎協定執行規則策略研析專案工作計畫》。

圖1 生產及消費導向的排放計算內涵

產力指標」與「需求導向的碳生產力指標」（OECD, 2011）。如圖1可看出二者的差異之處在於，以（1）式計算碳生產力時，分母（GDP）除的是生產導向計算而得的排放量、或是依消費導向所計算得到的排放量。

$$\frac{GDP}{GHGs\ emission_j, j}$$

= 生產導向或消費導向； (1)

此一指標之意涵在於以國家層級加總角度來簡要呈現每單位溫室氣體排放所創造之經濟價值，亦常被用來做為檢視環境效率之指標。在國際應用上，除了許多國家都將此指標列為重要的效率衡量對象之外，OECD更將此一指標整合入《綠色成長指標》（Green Growth Indicators）之中，來衡量一國的綠色經濟發展程度。

不同排放計算原則下、臺灣近年碳生產力指標變化

欲計算臺灣國家層次的碳生產力指標，需要取得以下幾項統計數據：

- 一、當年度GDP；
- 二、主要貿易對象進出口貿易值；
- 三、當年溫室氣體排放量；
- 四、進口國的溫室氣體排放係數。

本文透過行政院主計總處《國民所得統計年報》取得我國歷年GDP統計與進出口貿易值；另經財政部《貿易統計資料統計》取得我國主要貿易國家進口總值，配合UNFCCC網站上所彙整之各國《排放清冊》中公開申報的溫室氣體排放量，進而

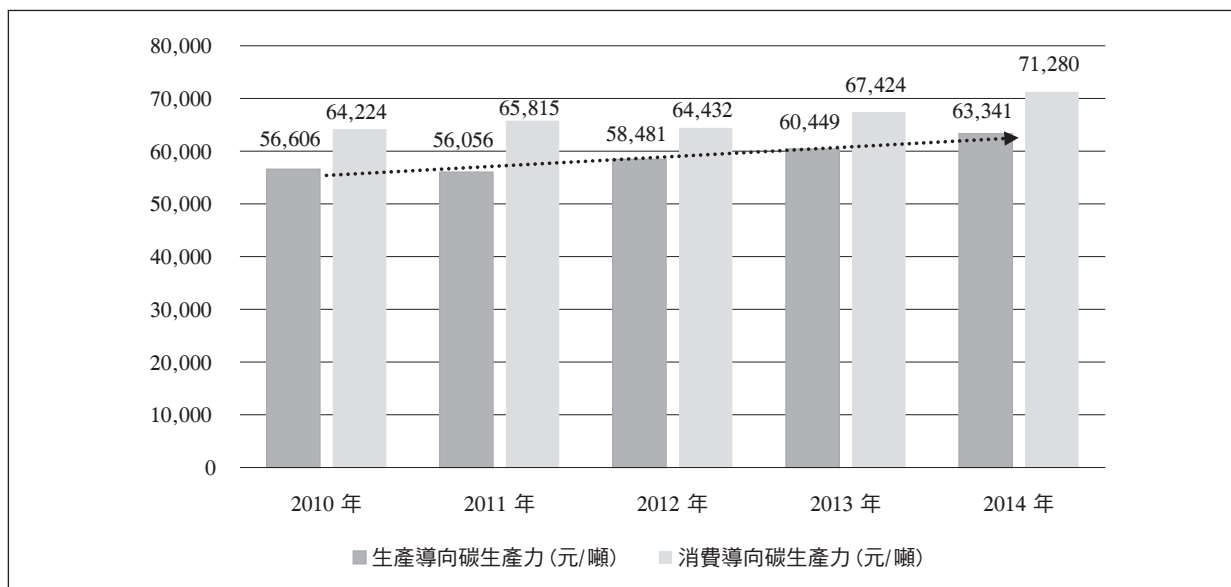
計算臺灣各進口國單位產值所對應的排放量。我國排放資訊則配合最新版《國家清冊》（National Inventory）排放資訊做為計算依據。目前世界各國《排放清冊》排放資

料更新至2014年，因此在資料可取得性的考量下，本段落主要計算臺灣2010年至2014年間之碳生產力指標變化，呈現如表1及圖2所示。

表1 臺灣歷年碳生產力變化

指標別	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
GDP (新臺幣百萬元)	14,119,213	14,312,200	14,686,917	15,230,739	16,111,867
生產導向排放量 (千噸CO ₂ e)	249,430	255,320	251,138	251,962	254,367
需求導向排放量 (千噸CO ₂ e)	219,843	217,463	227,945	225,894	226,036
生產導向碳生產力 (元/噸)	56,606	56,056	58,481	60,449	63,341
消費導向碳生產力 (元/噸)	64,224	65,815	64,432	67,424	71,280

資料來源：作者採用下列各原始資料加工計算而得：（1）行政院主計總處，《105年國民所得統計年報》；（2）行政院環境保護署，《106年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告》；（3）UNFCCC, Annex I and Non-Annex I GHG profiles；（4）財政部，「貿易統計資料查詢」。



資料來源：作者繪製。

圖2 2010-2014年臺灣碳生產力變化



依據表1的結果，兩種導向下的碳生產力皆呈逐年成長趨勢；生產導向碳生產力自2010年之56,606元/噸上升至2014年63,341元/噸，而消費導向碳生產力則自64,224元/噸上升至71,280元/噸。此外，我國生產導向的排放量一致地大於消費導向的排放量，同時消費導向的碳生產力一致地高於生產導向的碳生產力，此一結果說明我國為「碳的淨輸出國」。一般而言，以外貿導向的國家（包含臺灣在內），多半屬於碳的淨輸出國。

碳生產力之跨國比較：2009年的跨國簡要分析

為比較不同國家的情況，本文透過挑選數個我國之重要進出口對象來進行碳生產力之比較。由於此部分的計算必須深入了解分析對象的進出口結構，在評估技術上需要使用一些大型的跨國資料庫或模型來進行推估，因此多半是每四到五年可以產出一版推估分析。本文主要引用林師模等人（2017）針對2009年的跨國排放計算結果（依據生產

及消費導向原則分別計算）來加工計算這些國家的碳生產力、並進行簡要分析如下。相關計算結果彙整如表2與表3。

依據計算結果，韓國、中國大陸，以及我國均為「碳的淨輸出國」，因此採用消費導向原則所計算而得的排放量一致低於生產導向原則的計算結果。相反地，德國、日本以及美國歸屬於「碳的淨輸入國」，採用消費導向原則所計算的排放量顯著高於採用生產導向原則的計算結果。

另外從碳生產力角度來比較，在同為「碳的淨輸出國」的三個國家中，我國無論在生產導向的碳生產力、或是消費導向的碳生產力皆顯著高於中國大陸與韓國，表示在2009年的資源使用效率上，我國的表現較這二個國家更佳。除此之外，若以消費導向排放原則來計算人均排放量，臺灣的人均排放將由9.9噸/人降至8.9噸/人，平均每人減少1噸的排放，也從本來高於日本，轉變為低於日本、僅高於人口眾多的中國大陸。

表2 生產者排放責任與消費排放比較

國家名稱	生產導向排放 (百萬噸)	生產導向人均排放 (噸/人)	消費導向排放 (百萬噸)	消費導向人均排放 (噸/人)
中國大陸	6,318.6	4.7	5,623.6	4.2
美國	5,311.0	17.3	5,735.9	18.7
日本	1,192.9	9.3	1,276.4	10.0
德國	898.2	11.0	970.1	11.8
韓國	550.0	11.2	495.0	10.0
臺灣	230.9	9.9	207.8	8.9

註：貨幣單位皆以對應年度的匯率轉計算為新臺幣。

資料來源：排放資料取自林師模等人（2017），本文再加工計算不同導向的人均指標。

表3 生產導向與需求導向排放原則下的碳生產力比較（2009年）

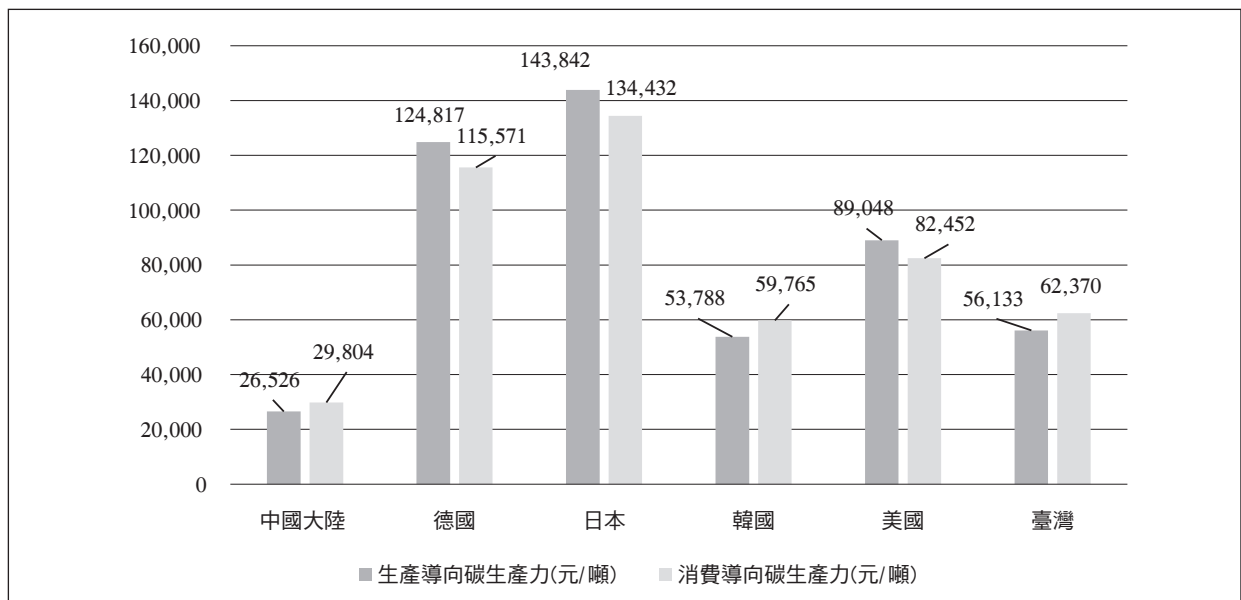
國家名稱	生產導向碳生產力（元/噸）	消費導向碳生產力（元/噸）
中國大陸	26,526	29,804
美國	89,048	82,452
日本	143,842	134,432
德國	124,817	115,571
韓國	53,788	59,765
臺灣	56,133	62,370

註：貨幣單位皆以對應年度的匯率轉計算為新臺幣。

資料來源：排放資料取自林師模等人（2017），本文再加工計算不同導向的碳生產力指標。

配合表1的數據可得知，臺灣溫室氣體排放量於2011年達到峰值，加上2015年通過〈溫室氣體減量及管理法〉後，各項政策工具將陸續推動以發揮排放控制及管理效果。除此之外，考量到未來對於電力碳排放係數亦已有管制目標，因此預期未來臺灣溫室氣

體排放量可以得到正面的控制。另一方面，近年全球經濟景氣呈現逐步升溫的情況，對於GDP的提升存在顯著的正面影響。在這二個方向的驅動力之下，臺灣的碳生產力預期也將持續成長。惟與世界各國相較之優劣，則仍待透過詳細的數據比較來進行分析。



資料來源：作者繪製。

圖3 2009重要國家碳生產力比較



結語

透過本文之初步檢視，可得到幾點小結與應用意涵。首先，生產及消費導向的排放計算方式，主要是因應國際碳排放責任承擔討論所衍生的議題。目前國際的共識是採用生產導向的排放方法來進行各國的碳排計算，但已有越來越多國家，特別是外貿導向國家，以及OECD國家，同時將消費導向之排放計算列為例行之統計工作。其次，依據初步計算結果，臺灣採用消費導向來計算排放量時，其量值將較生產導向的排放計算量來得小。此一結果說明臺灣為「碳的淨輸出國」，為滿足境內消費所產生的碳排量低於生產活動所產生的排放量（用以滿足國內需求與出口）。平均而言，消費導向排放計算結果將較現狀採用生產導向排放計算量低10%左右。此一結果的延伸意涵為，若論及跨國的碳排放責任分擔時，採用消費導向的計算方法對臺灣將較為有

利，也較能反映UNFCCC之「共同但有區別的責任」原則（common but differentiated responsibilities）。

在跨國比較上，地理區位與臺灣相近、且同為碳淨輸出國的中國大陸及韓國，在無論是生產導向或是消費導向的碳生產力計算結果上，皆不及臺灣，此顯示臺灣在資源使用效率上（每單位碳排所對應的GDP），仍顯著優於這二個國家。但須注意的是，目前跨國比較分析所需使用的資料較為複雜，因此本文僅陳列2009年的比較結果。後續亦建議更新相關資料進行分析，以令結果更符合近年的情況。最後，衍生自生產及消費導向排放計算原則之管理議題，在不同層次皆有，本文僅以國家層次的碳生產力做為探討對象。後續可進行降尺度的探討（比如產業層次、縣市層次等），預期將能令溫室氣體因應措施（response measures）及政策工具之設計更為靈活、並提升政策執行之有效性。