

縣市低碳發展效率評估與其影響成因 之探討

沈育生、劉小蘭*

《摘要》

面對全球暖化之課題與威脅，各國政府大多以低碳發展，作為發展的訴求及目標。而縣市於發展中，雖產生許多效益，卻也消耗不少資源，連帶也產生不少碳排放量與環境污染，因此，地方政府在獲得規劃管理權限後，如何在永續及低碳的框架中，綜合地衡量各種效益與耗損，調和並予以共存，並且落實於縣市發展政策之中，亦為一重要之課題。目前在低碳發展上的評估，多採用指標評估的方式進行分析，且甚少考慮發展所產生的負的外部性（即非意欲產出，undesirable outputs），亦多將非意欲產出忽略不計，故在評估上存在許多侷限與缺失；此外，對於影響低碳發展效率之政策或成因亦未有深入探討。故本文以台灣各縣市作為實證案例，在考量非意欲產出下（碳排放威脅、環境污染衝擊），透過「資料包絡分析」（data envelopment analysis, DEA）中的不良產出模型，評估縣市低碳發展效率，並藉由 Tobit 模型，釐清低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果，以作為未來低碳發展或政策研擬之參考。根據不良產出模型的評估結果，顯示臺北市、新竹市、臺東縣、花蓮縣在低碳發展效率上相對具

投稿日期：104年2月11日；接受刊登日期：105年3月11日。

* 沈育生為中央研究院環境變遷研究中心博士後研究員，通訊作者，
e-mail: 98257501@nccu.edu.tw。

劉小蘭為國立政治大學地政學系教授。

有效率，且已達最適規模水準。另外，透過 Tobit 模式的實證分析，對於影響縣市低碳發展效率具顯著的變數，包括工廠家數、資源回收量、市區公車系統路線總長、具綠建築標章的建物數、綠地面積。其中，除工廠家數對縣市低碳發展效率有負向影響外，其餘變數皆呈正向影響效果。

[關鍵詞]： 縣市低碳發展效率、非意欲產出、不良產出模型、低碳政策、Tobit 模型

壹、前言

低碳發展係整合低碳經濟、低碳社會、永續能源與生態等元素的新發展模式 (Cai, Wang, Yang, Liu, & Cao, 2012; Su, Chen, Xing, Chen, & Yang, 2012)。本文所界定的低碳發展，係指在發展經濟的同時，能從能源及生態角度，運用低碳技術、低碳政策達到生產方式、消費方式、基礎設施的低碳化，最大幅度減少二氧化碳排放量，建立高效率、可持續發展的型態，亦即高效率、高品質、高安全性、低能耗、低排放、低污染的發展型態。近年因全球暖化的課題與威脅，¹ 使得低碳發展成為目前永續發展的核心議題，同時亦成為各國政府發展的訴求及目標，並因此推出許多低碳政策，設法達成此一目標，但關於低碳政策的影響，卻未能清楚地釐清。

另外，縣市在空間上包括了（人造）都市與自然環境系統，隨著都市發展，雖然產生了許多效益，卻也消耗不少資源，連帶也產生不少碳排放量與環境污染，因此，地方政府在獲得規劃管理權限後，² 如何在永續的框架中，綜合地衡量各種效益與耗損，調和並予以共存，並且落實於縣市發展政策之中，實為一重要之課題。

目前在低碳發展上的評估，多採用指標評估的方式進行分析，而該方式既無法同時考量多項投入及產出的聯合影響，亦無法針對不同資料型態、不同單位變數進行整體性的分析，也無法針對無效率者提供改善之方向及建議，因此，在評估上存

¹ 全球暖化的因素，主要導因於溫室氣體的排放，其中又以二氧化碳排放對環境與氣候影響最為嚴重。故低碳化的發展成為目前永續發展的核心議題，亦是抑制氣候暖化的關鍵 (Kennedy et al., 2011; Lin, Cao, Cui, Wang, & Bai, 2010; Phdungsilp, 2010; Zhang, Feng, & Chen, 2011)。

² 地方政府基於地方自治精神與地方制度法之規範，被賦予一定的規劃與管制權限。

在許多侷限性。

而資料包絡分析可處理多投入多產出的評估問題、無須預先設定函數形式及估計函數之參數、可處理不同計量單位之投入與產出要素，且無須預先設定權重、可提供相關改善資訊等（Boussofiane, Dyson, & Thanassoulis, 1991; Cooper, Seiford, & Zhu, 2011），可解決上述的評估問題。也因此，DEA 逐漸被用於縣市或地區相關議題效率之評估上（Demchuk & Zelenyuk, 2009; Honma & Hu, 2008; Honma & Hu, 2009; Hu & Wang, 2006; Hu, Wang, & Yeh, 2006）。但過去關於地區效率評估之研究，甚少考慮發展所產生的外部性，多將負外部性（即非意欲產出）忽略不計，故在效率計算上恐失真確。

爾後，不少研究開始針對非意欲產出進行分析，並將其納入效率考量之中，但多集中於產業上（He, Zhang, Lei, Fu, & Xu, 2013; Seiford & Zhu, 2002; Tsolas, 2011; Wu, An, Xiong, & Chen, 2013），雖然近年逐漸聚焦至區域及國家發展上（Färe, Grosskopf, & Hernandez-Sancho, 2004; Kumar, 2006; Lu, Chiu, Shyu, & Lee, 2013; Zhou, Ang, & Poh, 2006; Zhou, Poh, & Ang, 2007; Zhou, Ang, & Han, 2010），但卻甚少應用於縣市或地區的發展評估上。

面對全球氣候暖化與低碳發展，應以「全球考量，在地行動」的方式解決，正因如此，並考量上述種種因素後，本文以台灣各縣市作為實證案例，在考量非意欲產出下（碳排放威脅、環境污染衝擊），透過資料包絡分析中的「不良產出模型」（bad outputs model），評估縣市低碳發展效率，並藉由 Tobit 模型，釐清低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果，以作為未來縣市低碳發展或政策研擬參考之用。

本文分為五部分，在本段敘述研究動機、目的、內容後，第二、三段則分別詳述研究設計內容（含分析架構、決策單元、分析方法與模型、衡量指標與分析變數）與實證的樣本資料，以作為後續實證分析之基礎，第四段便針對縣市低碳發展效率進行評估，第五段則分析低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果，並釐清其關係，最後，提出本文之結論與建議。

貳、低碳發展與非意欲產出效率之探討

一、永續、氣候變遷與低碳發展

自工業化以來，人類在生產活動不僅大量消耗自然資源與能源，更產生許多負面外部性，如環境污染、生態威脅等，而在所伴隨的都市化效應，以及強調經濟高

度成長的影響下，使得此情況更形惡化，直至 1972 年 Meadows、Meadows、Randers 與 Behrens III 所著 *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind* 的一書所引發人口成長、工業化、污染及自然資源耗竭的問題討論，才使得自然環境、資源及能源的議題逐漸受到關注，之後隨著永續發展概念的興起，更使得都市的發展上須著重經濟、社會、環境生態的均衡。

而近來因全球氣候暖化與氣候變遷的影響，致使低碳發展成為全球關注的議題。而高耗能、高碳排放的都市，不僅本身的低碳化是抑制氣候暖化的關鍵，同時亦是落實低碳政策的執行平台（Kennedy et al., 2009; Lin et al., 2010; Phdungsilp, 2010; Zhang, Yang, Liang, & Cai, 2011）。也因此，低碳都市的發展，不僅須符合永續的發展框架，更具有抑制氣候暖化，降低氣候變遷損害之功能。

低碳發展除強調減碳與節約能源消耗外，更包含效率性及永續發展之概念，也因此須重視發展效率，以及以往被忽略的環境外部成本。為有效衡量社經發展過程中所產生的環境負外部性，並將其納入縣市發展效率評估之中，故本文透過非意欲產出之概念進行效率評估。

二、我國低碳政策之發展

隨著低碳發展逐漸受到重視，各國提出不少的減碳政策及治理方式（Choy, Ho, & Mak, 2013; Deetman, Hof, & van Vuuren, 2015; Fortes, Simões, Seixas, Van Regemorter, & Ferreira, 2013; Haselip, Hansen, Puig, Trærup, & Dhar, 2015; Skea & Nishioka, 2008），亦針對該減碳政策提出檢核（Wang & Chang, 2014）。而台灣各行政機關，亦先後著手於相關低碳計畫之研擬與執行。行政院為整合各機關節能減碳之相關計畫，以及期望達成國家永續能源政策綱領中訂定之目標，故於 2010 年訂定「國家節能減碳總計畫」。之後，雖然該計畫的名稱依計畫目的與組織變革而有所變化，³ 但我國的低碳政策大致依循此計畫之內容。

該計畫之目標強調「節能」與「減碳」，並訂定十大標竿方案（包括健全法規體制、低碳能源系統改造、打造低碳社區與社會、營造低碳產業結構、建構綠色運輸網絡、營建綠色新景觀與普及綠建築、擴張節能減碳科技能量、節能減碳公共工程、深化節能減碳教育、強化節能減碳宣導與溝通）及 35 項標竿型計畫（行政

³ 「國家節能減碳總計畫」曾更名為「國家節能減碳總行動方案」，目前稱為「國家綠能低碳總行動方案」。

院，2014）。自 2010 年迄今，該計畫歷年的工作項目數量已達 1,069 項（如表一），開支經費達 35,077,701 萬元（如表二）。以變化趨勢而言，各年度之計畫數量呈逐年遞減趨勢，而各年度之開支經費亦呈逐年遞減，但於 2014 年則有略為增加的趨勢（如圖一）。

另外，在十大標竿方案中，與低碳都市發展及建設較相關者，包括了：低碳能源系統改造、打造低碳社區與社會、營造低碳產業結構、建構綠色運輸網絡、營建綠色新景觀與普及綠建築、擴張節能減碳科技能量、節能減碳公共工程等，其亦為後續政策變數研擬之考量依據。

表一 各年度工作計畫之工作項目比較表

單位：項數

十大標竿	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
健全法規體制	28	21	16	13	12
低碳能源系統改造	61	46	41	27	22
打造低碳社區與社會	37	15	16	15	15
營造低碳產業結構	76	65	59	54	52
建構綠色運輸網絡	29	26	22	22	20
營建綠色新景觀與普及綠建築	14	12	8	5	4
擴張節能減碳科技能量	23	20	19	16	13
節能減碳公共工程	8	7	9	8	8
深化節能減碳教育	8	5	4	4	4
強化節能減碳宣導與溝通	16	13	11	11	9
總計	300	230	205	175	159

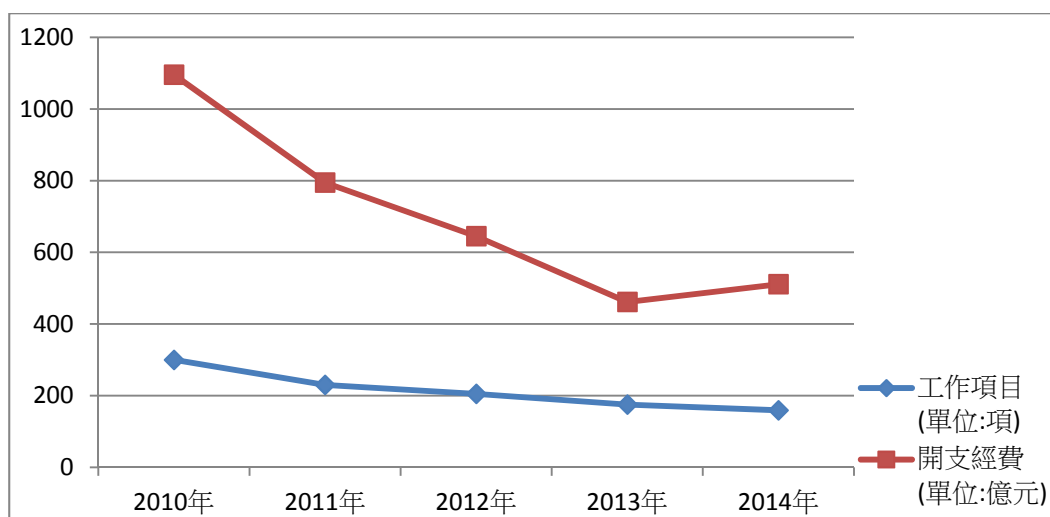
資料來源：整理自國家綠能低碳總行動方案 103 年度工作計畫（14-15 頁），行政院，2014，臺北市：行政院。

表二 各年度工作計畫之開支經費比較表

單位：萬元

十大標竿	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
健全法規體制	6,554	5,635	3,810	3,710	5,148
低碳能源系統改造	4,295,146	937,834	665,368	305,747	329,126
打造低碳社區與社會	18,363	30,604	26,840	24,770	26,471
營造低碳產業結構	473,437	330,320	312,252	219,592	192,059
建構綠色運輸網絡	5,325,515	6,109,005	4,874,636	3,437,686	3,818,726
營建綠色新景觀與普及綠建築	224,108	281,765	269,870	213,880	185,387
擴張節能減碳科技能量	598,901	237,866	285,694	298,349	541,657
節能減碳公共工程	318	1,107	1,643	2,587	1,696
深化節能減碳教育	8,365	4,330	4,100	3,750	4,464
強化節能減碳宣導與溝通	4,931	7,198	6,216	103,497	4,290
總計	10,955,638	7,945,665	6,450,429	4,613,568	5,109,025

資料來源：整理自國家綠能低碳總行動方案 103 年度工作計畫（15-16 頁），行政院，2014，臺北市：行政院。



圖一 歷年工作項目及開支經費之變化圖

資料來源：本研究繪製

三、非意欲產出效率之概念與 DEA 分析模型

在縣市發展的過程中，產出的內容包括受評單位所期望者與非所期望者，前者為意欲產出，後者為非意欲產出。而非意欲產出可視為發展過程中所伴隨產生的負外部效果。傳統的 DEA 分析模型（如 CCR 與 BCC 模型等），都是以意欲產出及投入為主，亦即假設產出可能集合的投入及產出項具強可拋性質。但是，當生產有非意欲產出時，投入量不變，任何產出等比率縮減，包括丟棄或減少非意欲產出時，必須要花費成本或犧牲一些好的意欲產出，所以產出為弱可拋（Olesen & Petersen, 1995）；而當非意欲產出項為弱可拋時，表示拋棄非意欲產出是必須要付出代價的，若要減少非意欲產出，必須減少總產出，亦即會使意欲產出減少（Olesen & Petersen, 1995）。因此，傳統的分析模式在此時便無法有效進行評估，也促使許多針對非意欲產出效率評估模式的出現。

自 Pittman (1983) 首先將非意欲產出之概念納入生產力評估後，不少研究提出非意欲產出效率的 DEA 分析模型，如 Färe、Grosskopf、Lovell 與 Pasurka (1989)、Färe 等人 (2004)、Seiford 與 Zhu (2002)、Tone (2001, 2003)……等等。而近年來，隨著「SBM 模式」(slacks-based measure of efficiency)，以及其修正模式的發展，不少考慮負外部性效果之環境效率評估，皆利用此法進行分析 (Chang, Zhang, Danao, & Zhang, 2013; Rao, Wu, Zhang, & Liu, 2012; Song, Song, An, & Yu, 2013; Zhou et al., 2006; Zhang & Choi, 2013)，而本文係處理橫斷面非意欲產出的效率問題，在分析的主題與內容上與前述研究相似，故採用 SBM 的修正模式⁴進行分析。

四、非意欲產出效率於地區發展之應用

隨著永續概念的發展，以及環境生態保育的日趨重視，非意欲產出效率的應用範圍亦擴及至產業 (Färe et al., 1989; He et al., 2013; Meng, Fan, Zhou, & Zhou, 2013; Wu et al., 2013)、能源與資源 (Färe, Grosskopf, & Pasurka, 2007; Rao et al., 2012; Wu, Fan, Zhou, & Zhou, 2012)、公共設施及運輸 (Chang et al., 2013; Hu, Qi, & Yang, 2012; Huang & Li, 2013)，以及地區、區域及國家發展上 (Färe et al., 2004;

⁴ 因本文係處理橫斷面非意欲產出的效率問題，且意欲產出與非意欲產出間可作分割，並能分別計算，故採用改良自 SBM 模式的不良產出模式進行效率評估。

Kumar, 2006; Li, Yang, & Liu, 2013; Song et al., 2013; Zaim & Taskin, 2000; Zhou et al., 2010; Zhang & Choi, 2013)。

其中，在地區、區域及國家發展方面，Zaim 與 Taskin (2000) 探討 OECD (The Organization for Economic Cooperation and Development) 25 個會員國的環境績效，投入項為勞動力與資本，產出項則是國民生產毛額，非意欲產出則是二氧化碳排放量；Zofio 與 Prieto (2001) 分析 14 個 OECD 會員國的製造業環境績效，投入項目為勞動力及資本，產出項則是各國製造業的生產總額，非意欲產出則是二氧化碳排放量；Färe 等人 (2004) 衡量 17 個 OECD 會員國的生產力績效，投入包括能源消耗量、勞工數、資本，產出是國民生產毛額，非意欲產出包括二氧化碳、氮氧化物、硫氧化物；Arcelus 與 Arocena (2005) 分析與產出與非意欲產出的權衡，投入變數包括「勞動」(labor) 與「資本額」(capital)，產出項則是「國民生產毛額」(GDP)，非意欲產出二氧化碳排放量；Kumar (2006) 檢視合計 41 個已開發與開發中國家的生產力變遷，投入項包括勞動、資本和能源消耗量，產出項是 GDP，非意欲產出項是二氧化碳排放量；Zhou 等人 (2006) 研究 30 個 OECD 會員國從 1998 至 2002 年的環境績效變遷，投入項包括主要能源供給和人口數，產出項是 GDP，非意欲產出項則是二氧化碳排放量；Zhou 等人 (2007) 以非射線型 DEA 模型來衡量 26 個 OECD 會員國環境績效，投入項包括勞動和主要能源消耗，產出項是 GDP，非意欲產出則是二氧化碳、一氧化碳、硫氧化物與氮氧化物；Zhou 等人 (2010) 研究二氧化碳排放量全球前 18 大國家的生產效率變遷，投入項包括勞動資本和能源消耗量，產出是 GDP，非意欲產出則是二氧化碳排放量。Chiu 與 Wu (2010) 將非意欲產出 (空汙、廢水、廢棄物) 納入考量，並設置不同 DEA 模型，藉此分析並比較 2000-2003 年中國 27 個省內城市的環境效率。Coli、Nissi 與 Rapposelli (2011) 考量空汙 (二氧化氮、懸浮微粒) 等非意欲產出變項後，利用 DEA 評估 2004 年意大利的環境效率。Wang、Wei 與 Zhang (2012) 以 DEA 模型評價中國 30 個地區在生產要素 (資本、勞力) 與化石能源輸入，以及意欲產出 (GDP) 與非意欲產出 (二氧化硫、二氧化碳) 中之效率。Zhang 與 Choi (2013) 考量二氧化硫、COD、二氧化碳等非意欲產出，並透過 SBM model 中的不良產出模式，分析中國在 2001-2010 年間，區域經濟的環境能源效率。Lu 等人 (2013) 從 OECD 選取 32 個國家，透過 DEA 模型，分析 2005 至 2007 年的二氧化碳排放效率變化，投入包括工業附加價值、勞工數，產出是國民生產毛額，非意欲產出包括二氧化碳。Li 等人 (2013) 透過納入空汙、廢水、廢棄物等非意欲產出的 DEA

模型，衡量北京過去五年的環境效率。Song 等人（2013）將空汙、廢水、廢棄物等非意欲產出納入考量，透過 SBM model，針對 1998 年至 2009 年中國各省的環境效率進行分析。

綜觀上述應用非意欲產出效率評估地區發展之研究成果，可知在地區發展在環境績效或生產力績效評估上，非意欲產出項多被設定為二氧化碳排放量（Arcelus & Arocena, 2005; Kumar, 2006; Lu et al., 2013; Wang et al., 2012; Zaim & Taskin, 2000; Zofio & Prieto, 2001; Zhou et al., 2006; Zhou et al., 2010; Zhang & Choi, 2013）、空氣汙染（如一氧化碳、二氧化硫、硫氧化物、氮氧化物、二氧化氮、懸浮微粒）（Chiu & Wu, 2010; Coli et al., 2011; Färe et al., 2004; Li et al., 2013; Song et al., 2013; Wang et al., 2012; Zhou et al., 2007; Zhang & Choi, 2013）、廢棄物（Chiu & Wu, 2010; Li et al., 2013; Song et al., 2013）、廢水及水質（Chiu & Wu, 2010; Li et al., 2013; Song et al., 2013; Zhang & Choi, 2013）等。

此外，歸納上述各項研究成果，可發現低碳發展與永續是當前重要之課題，而非意欲產出概念的效率衡量，不僅可藉由考量發展或生產過程的外部成本，達到永續之目的，更可於其中找出相對效率者，以及提供無效率改善之方向，然而，非意欲產出效率過去多應用於產業，近年雖逐漸轉至地區、區域及國家發展上，然其多聚焦於跨國區域或國家的發展，甚少應用於縣市或地方的發展評估上，故本文將以此方法評估縣市低碳發展效率。另外，我國目前雖依據低碳發展目標，推出許多低碳政策，但關於低碳政策的影響，卻未能清楚地釐清，因此，釐清低碳政策對縣市低碳發展效率之影響，亦是本文所要探討之內容。

參、研究設計

一、分析架構

為有效地評估縣市低碳發展效率，以及分析低碳政策對縣市低碳發展效率之影響，故研提本文之分析架構（詳如圖二），其內容包括：

- （一）**低碳政策與縣市低碳發展效率範疇之界定**：界定研究主題與內容，並決定欲進行實證分析的地理空間範圍。
- （二）**研究設計**：根據研究主題與目的，研擬研究架構，並選定適合的分析方法。
- （三）**縣市低碳發展效率評估**：（1）依研究主題與目的，確定欲進行效率評估的

決策單元 (decision making unit, DMU)；(2) 選取反映縣市低碳發展效率之投入項 (即資源與能源投入、財政支出與資本投入、勞動力投入等變數) 與產出項 (即「意欲產出」的經濟產出效益、市政建設及發展效益、生活品質效益等變數；「非意欲產出」的碳排放威脅、環境污染衝擊等變數)，並進行相關資料的蒐集與整理；(3) 透過 DEA 中的不良產出模型，針對縣市低碳發展效率，進行效率分析、參考集合分析與差額變數分析；(4) 經由效率評估與分析後，選取具低碳發展效率之縣市。

(四) **低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果分析**：(1) 根據研究主題與文獻回顧，設定假設關係與分析變數，並進行相關資料的蒐集與整理；(2) 透過 Tobit 模式，進行低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果分析，試圖找出影響縣市低碳發展效率之關鍵政策。

(五) **結論與建議**：根據上述實證分析結果，歸納結論，並提出相對應的政略及改善建議。

二、決策單元

在進行資料包絡分析時，基於資料的一致性、分析的精確性與連慣性，故本文以台灣本島改制前的 22 縣市作為決策單元而其數量符合資料包絡分析中決策單元數量決定的經驗法則，亦即受評的決策單元個數須大於投入項及產出項個數總和的二倍，以避免讓過多的受評單元落在效率前緣上，喪失資料包絡分析的鑑別力。

三、分析方法與模型

(一) DEA 效率評估技術

資料包絡分析是一種「無母數效率前緣」(Non-Parametric Efficiency Frontier) 分析方法，屬於毋須預先設立投入及產出項目間函數之無母數分析方法，可用來評估多投入與多產出決策單元之相對效率。該方法之效率衡量乃建構於柏拉圖最適境界效率之觀念，利用數學規劃於幾何空間上解釋資源被經濟地使用程度，並藉由選定投入及產出項目，建構效率前緣邊界，落在此邊界上之分析單元則是相對具有效率，落在效率邊緣線內則是相對無效率，而此些不具效率的決策單元，則就其分佈狀況給予其介於 0 與 1 之間的效率值。另外，DEA 可藉由參考集合分析，檢視具相對有效率決策單元的穩健程度；並可藉由差額變數分析，瞭解無效率決策單元改進的資訊，並透過增加投入或減少產出，以達有效率目標。

而資料包絡分析涵蓋許多模式，包括了 CCR 模式、BCC 模式、加法模式、乘法模式、SBM 模式、移動視窗、麥氏指數……等等（Cooper, Seiford, & Tone, 2007）。然而在縣市發展的過程中，產出的內容包括受評單位所期望者（意欲產出）與非所期望者（非意欲產出），且意欲產出與非意欲產出間可作分割，並能分別計算之，故本文採用不良產出模式進行縣市低碳發展效率之評估。而不良產出模式係為 SBM 的修正模式，其可調整意欲產出與非意欲產出間之相對權重，⁵ 並具有單位不變性、同向性的優點，亦可改正 CCR 與 BBC 模式等比率調整缺失，以及加法模式單位非不變性之缺失，其模式內容簡述如附錄一，而詳細之計算公式可參閱 Tone（2003）。

（二）Tobit 迴歸分析

Tobit 迴歸屬於應變數受到限制的一種模型，其概念最早是由 Tobin 於 1958 年所提出，之後由 Goldberger 首度採用（Greene, 2012）。在進行影響因子探討時，須把 DEA 所計算出的縣市低碳發展效率值作為應變數，但其值域範圍介於 0 與 1 間，亦即任一 DMU 的效率值最大不超過 1，且最小不低於 0，故屬於截斷資料，因此，若直接以效率值為被解釋變數建立計量模型，並利用一般「最小平方法」（Ordinary Least Squares, OLS）進行迴歸估計，會因為無法完整地呈現資料，使得參數估計是有偏且不一致的；但採用遵循最大概似法估計的 Tobit 模型則能有效地解決此問題，故本文透過 Tobit 模型分析低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果。

本文所設定的 Tobit 模型如式（1）及式（2）所示，其中 y_i 是由 DEA 所計算出的縣市低碳發展效率值； y_i^* 是潛變量； x_{ij} 是影響各縣市低碳發展效率值的低碳政策； ε_i 是誤差項； τ_1 及 τ_2 則各表示 y_i^* 設限時， y_i 的指定值，本文此二值皆設定為 0。另外，因本文樣本並非十分龐大，故以「拔靴反覆抽樣法」（bootstrap resampling method）反覆抽取 100,000 個樣本，⁶ 以之作為參數估計與推論來源。而拔靴反覆抽樣法係 Efron（1979）所提出之無母數統計方法，是採放回後再抽樣

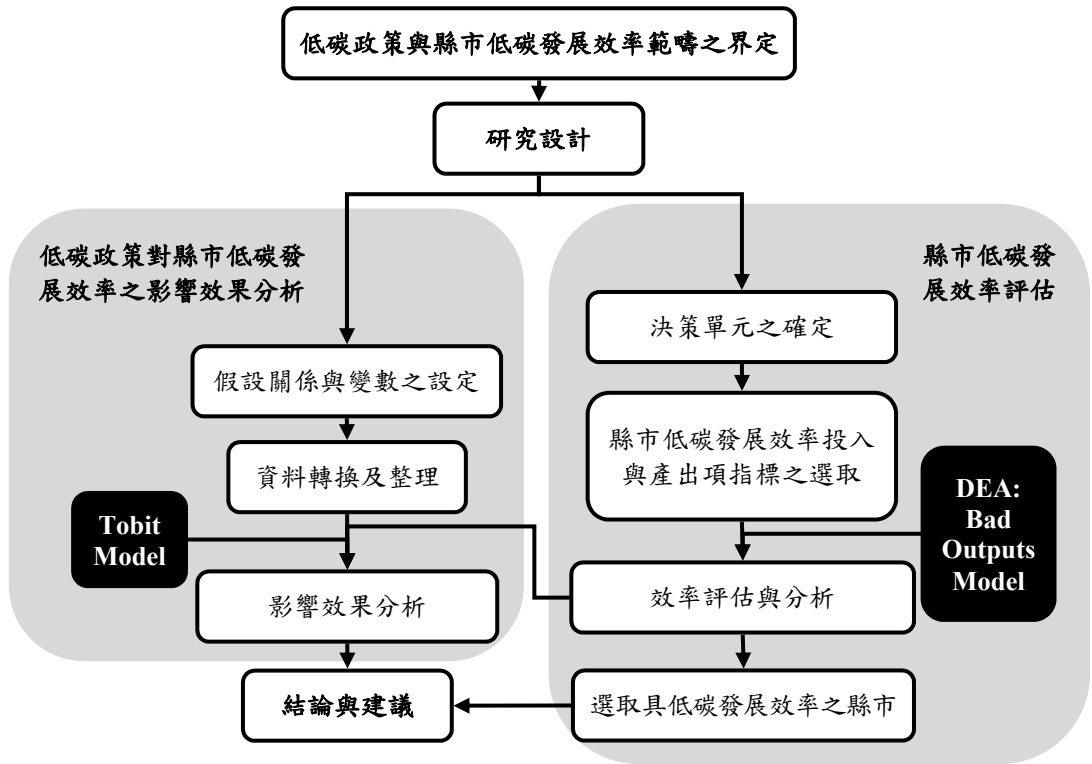
⁵ 本文在透過不良產出模式進行效率評估時，因視意欲產出與非意欲產出同等重要，故將兩者之相對權重設定為 1:1。

⁶ 拔靴反覆抽樣法的操作為：決定重複抽樣次數為 100,000 次，繼而將全台改制前 22 縣市樣本資料，採用「均勻取出放回」（uniformly with replacement）方式，進行重複抽樣，重新建立起足以代表母體分配之新樣本集合。

的反覆抽樣過程，藉此估計統計量分配，即使樣本過小，也能經過此方式精確估計。

$$y_i^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{cases} y_i = \tau_1 & \text{if } y_i^* \leq 0 \\ y_i = y_i^* & \text{if } 0 < y_i^* < 1 \\ y_i = \tau_2 & \text{if } y_i^* \geq 1 \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$



圖二 分析架構圖

資料來源：本研究繪製

四、衡量指標與分析變數

(一) DEA 評估指標⁷

1. 投入項

縣市發展需要各類能源與資源的投入，而個人、家戶及產業的各類活動亦會耗用資源，如水資源、電力、化石能源等（Chiu & Wu, 2010; He et al., 2013; Li et al., 2013; Meng et al., 2013; Song et al., 2013; Tyteca, 1996; Wang et al., 2012; Wu et al., 2012; Zhou et al., 2007; Zhou et al., 2010），以往研究透過用水（Charmondusit & Keartpakpraek, 2011; Kharel & Charmondusit, 2008）、電力消耗量（Chiu & Wu, 2010; Wu et al., 2013; Zhang, Bi, Fan, Yuan, & Ge, 2008）、化石能源消耗量，分析都市及產業資源耗用情形，並分析績效與發展效率之變化。

另外，縣市的發展亦需要資本與勞動力要素的投入（Chiu & Wu, 2010; Färe et al., 2004; He et al., 2013; Li et al., 2013; Lu et al., 2013; Meng et al., 2013; Song et al., 2013; Wang et al., 2012; Zhang & Choi, 2013），並藉此推動縣市各類活動與事務（如社經發展、實質建設），以達縣市發展目標。以往用來評估資本要素的指標，包括產業資本總額、各類產業投資資金，而用來評估勞動力要素的指標，包括產業就業員工率、勞動生產效率、勞動人口、就業員工數。

承上述，基於研究目的及指標的代表性，本文共選取 3 類評估指標（見表三），分別是「資源與能源投入」、「財政支出與資本投入」、「勞動力投入」。其中，「資源與能源投入」是水資源消耗量、電力消耗量、化石能源消耗量等三變數，經過附錄二式（5）轉換後，所計算的平均值；「財政支出與資本投入」是財政歲出水準、產業資本總額等二變數，經過附錄二式（5）轉換後，所計算的平均值；「勞動力投入」則以縣市總就業員工數作衡量。

2. 產出項

產出項包括衡量意欲產出及非意欲產出的相關指標，其內容詳述如下：

(1) 意欲產出

⁷ 基於 DEA 的建模經驗法則，投入項及產出項個數總和須小於受評的決策單元個數的 1/2，故為求 DEA 分析結果的有效性與合理性，不宜過多的評估指標，因此，下述相似衡量主題與目的的指標，將透過附錄二式(5)的轉換後，計算其平均值，以此作為該類主題指標的綜合值。

縣市發展的意欲產出，係指縣市發展上期望產出的正向效果，包括經濟活動的產出、實體建設與發展的產出、生活品質的產出。縣市中經濟活動的產出，係為滿足人們生產、消費及分配需求，過去用以評估的相關指標，包括產業產值、產業產值間之比例、資源消耗量與產值間比例等（Arcelus & Arocena, 2005; Chang et al., 2013; Färe, Grosskopf, & Pasurka, 2001; He et al., 2013; Meng et al., 2013; Wu et al., 2012; Wu et al., 2013; Zofio & Prieto, 2001）。而實體建設與發展的產出，則是縣市透過實際的建設，滿足人們各類活動需求，過去用來評估的相關指標，包括公共設施用地面積、道路建設面積與長度、都市計畫區面積、醫療院所數、醫療病床數、公共圖書館數、自來水供水普及率、雨水下水道建設長度。另外，生活品質的產出上，則是縣市發展作用於居民生活幸福感的呈現，以往用來評估的相關指標，包括死亡率、平均壽命、自有住宅數、住宅面積。

承上述，基於研究目的及指標的代表性，本文共選取 3 類評估指標（見表三），分別是「經濟產出效益」、「市政建設及發展效益」、「生活品質效益」。其中，「經濟產出效益」是以縣市各類產業的總產值作衡量；「市政建設及發展效益」是公共設施用地面積、醫療病床數、公共圖書館數、自來水供水普及率、雨水及汙水下水道已建設長度的綜合值等變數，經過附錄二式（5）轉換後的平均值；「生活品質效益」是自有住宅數、平均壽命經過附錄二式（5）轉換後，所計算的平均值。

(2) 非意欲產出

縣市發展的非意欲產出，包括碳排放量、環境污染，其是伴隨各類活動所產生，亦為縣市發展上非所期望產出者，是發展過程中伴隨產生的負外部效果。以往在評估碳排放量上，多以二氧化碳排放量為主。而在環境污染的評估上，多選取空氣污染物質（含總懸浮微粒、臭氧、一氧化碳、二氧化硫、氮化合物）、溫室氣體排放量、廢水排放量、水值品質（重金屬、溶氧、氨氮、氫離子濃度指數、大腸桿菌）、廢棄物產出量、廢棄物清運量、廢棄物處理率（Chiu & Wu, 2010; Charmondusit & Keartpakpraek, 2011; He et al., 2013; Kharel & Charmondusit, 2008; Li et al., 2013; Meng et al., 2013; Song et al., 2013; Tyteca, 1996; Tao & Zhang, 2013; Zhang et al., 2008）作為指標。

承上述，基於研究目的及指標的代表性，本文共選取 2 類評估指標（見表三），分別是「碳排放威脅」、「環境污染衝擊」。其中，「碳排放威脅」是以各縣市二氧化碳的排放量作衡量；「環境污染衝擊」是 PSI > 100 日數比率、汙水排

放量、垃圾產生量三變數，經過附錄二式（5）轉換後，所計算的平均值。

表三 DEA 評估指標及其內涵

投入 / 產出項		評估指標	指標內涵	單位
投入項	資源投入	資源與能源投入	水資源消耗量、電力消耗量、化石能源消耗量的綜合值	-
		財政支出與資本投入	財政歲出水準、產業資本總額的綜合值	-
		勞動力投入	縣市總就業員工數	千人
產出項	意欲產出	經濟產出效益	縣市各類產業的總產值	千元
		市政建設及發展效益	公共設施用地面積、醫療病床數、公共圖書館數、自來水供水普及率、雨水及汗水下水道已建設長度的綜合值	-
		生活品質效益	自有住宅數、平均壽命的綜合值	-
	非意欲產出	碳排放威脅	二氧化碳的排放量	公噸
		環境污染衝擊	PSI>100日數比率、汗水排放量、垃圾產生量的綜合值	-

資料來源：本研究整理

（二）Tobit 迴歸變數與假說研提

本文透過 Tobit 模型的分析，檢視低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果。而所界定的低碳政策包括：產業結構、再生能源設備發展、資源循環利用、低碳運輸、低碳建築、低碳都市型態、碳匯規劃。而基於本章的研究目的、分析變數的代表性、分析結果的效度與可應用性，故所選定用以表述各低碳政策之分析變數則分別是：工廠家數、太陽能熱水系統安裝件數、資源回收量、市區公車系統路線總長、具綠建築標章的建物數、都市發展密度、綠地面積（詳見表四）。以下分別說明各低碳政策變數對縣市低碳發展效率之預期關係：

在工廠家數方面，當其值增加時，會消耗更多的投入資源，亦會產生更多的碳排放量與環境污染，對自然生態環境造成威脅（Aragón-Correa, 1998; Barney, 1991; Bi, Zhang, Wang, Liu, & Wu, 2011; Dodman, 2011; Revetz, 2000; Russo & Fouts, 1997; Wang et al., 2014; Zhang et al., 2011），但同時亦會增加產業產值，促進經濟發展，故與縣市低碳發展效率之關係是為正向或為負向，須視意欲產出與非意欲產出何者為大，因此，本文設定工廠家數與縣市低碳發展效率的預期關係為正亦可能為負。

而在太陽能熱水系統安裝件數方面，當其值增加時，會節省不可更新資源的使用，並降低碳排放量與環境污染的威脅，進而提高該縣市的低碳發展效率。因此，本文預期太陽能熱水系統安裝件數愈多，會使得縣市的低碳發展效率提高，亦即兩者呈正向關係。

在資源回收量方面，當其值增加時，表示資源循環利用程度愈高，其除可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅（Chen & Zhu, 2013; Oh, 2014），進而提高該縣市的低碳發展效率。因此，本文預期資源回收量愈多，會使得縣市的低碳發展效率提升，亦即兩者呈正向關係。

在市區公車系統路線總長方面，當其值增加時，表示公共運輸服務系統愈發達，其除可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，進而提高該縣市的低碳發展效率。因此，本文預期市區公車系統路線總長愈多，會使得縣市的低碳發展效率提升，亦即兩者呈正向關係。

在具綠建築標章的建物數方面，當其值增加時，除了可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，以及提高生活品質效益，並進而提高該縣市的低碳發展效率。因此，本文預期具綠建築標章的建物數愈多，會使得縣市的低碳發展效率提升，亦即兩者呈正向關係。

在都市發展密度方面，當其值增加時，能夠縮短旅運距離與需求（Barkalow, Bemis, McKeever, Phinney, & Vinton, 2007; Ewing, Pendall, & Chen, 2003; Giuliano & Narayan, 2003; Grazi, van den Bergh, & van Ommeren, 2008；林楨家、楊恩捷，2006），並促進公共交通系統和步行被使用（Cervero, 1996; Cervero & Kockelman, 1997; Dunphy & Fisher, 1996; Grazi et al., 2008），藉此減少運輸的能源消耗和二氧化碳排放。但都市密度愈高，愈易造成交通堵塞，同時會因車輛的走走停停，造成引擎空轉，增加二氧化碳排放。而與縣市低碳發展效率之關係是為正向或為負向，須視上述效果何者為大，故本文預期都市發展密度與縣市低碳發展效率的關係為正亦可能為負。

在綠地面積方面，因綠地本身碳吸存的作用，對減緩碳量有著直接且正面的影響（Vaccari, Gioli, Toscano, & Perrone, 2013; Weissert, Salmond, & Schwendenmann, 2014）。當其值增加時，除可提高生活品質效益外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，並進而提高該縣市的低碳發展效率。因此，本文預期綠地面積愈大，會使得縣市的低碳發展效率提升，亦即兩者呈正向關係。

綜合上述，本文各低碳政策變數與縣市低碳發展效率值之預期關係（如表

四)，包括：

1. 「工廠家數」對「縣市低碳發展效率」產生影響，但效果未定；
2. 「太陽能熱水系統安裝件數」對「縣市低碳發展效率」產生正向影響效果；
3. 「資源回收量」對「縣市低碳發展效率」產生正向影響效果；
4. 「市區公車系統路線總長」對「縣市低碳發展效率」產生正向影響效果；
5. 「具綠建築標章的建物數」對「縣市低碳發展效率」產生正向影響效果；
6. 「都市發展密度」對「縣市低碳發展效率」產生影響，但效果未定；
7. 「綠地面積」對「縣市低碳發展效率」產生正向影響效果。

表四 影響縣市低碳發展效率值之低碳政策變數

低碳政策	分析變數	單位	與縣市低碳發展效率值之預期關係
產業結構	工廠家數	家	+/-
再生能源設備發展	太陽能熱水系統安裝件數	件	+
資源循環利用	資源回收量	公噸	+
低碳運輸	市區公車系統路線總長	公里	+
低碳建築	具綠建築標章的建物數	個	+
低碳都市型態	都市發展密度 ^a	%	+/-
碳匯規劃	綠地 ^b 面積	公頃	+

註：^a都市發展密度=都市計畫區面積 / 縣市土地總面積；^b綠地包括林地、草地。

資料來源：本研究整理

肆、樣本資料說明

一、實證地區與空間範圍

在進行縣市低碳發展效率評估，以及低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果分析時，基於資料一致性、分析精確性與連慣性的考量，故本文實證案例地區，以台灣本島改制前的 22 縣市為主。

二、資料來源說明

DEA 投入及產出項的評估指標，以及 Tobit 模型中的各類變數皆為數值型態，其衡量單位可詳見表三、表四。另外，由於本文係採用多個政府單位之次級資料，而各單位資料建置年份不一，故受限於政府各單位建置資料之年份，並顧及資料分析的一致性與連慣性，所以將各變數資料的時點，統一設定為 2010 年。

在衡量變數的資料取得上，上述所有變數皆以次級資料搜集取得為主，其分別整理自 2010 年的都市及區域發展統計彙編、工商及服務業普查報告、各縣市統計資料庫、行政院主計總處、內政部與環保署網站資料，以及台灣電力公司與經濟部能源局內部所提供的資料。

伍、縣市低碳發展效率評估

一、效率分析

在不良產出模式的效率分析結果中，包括總「技術效率」(technical efficiency, TE)、「純技術效率」(pure technical efficiency, PTE)與「規模效率」(scale efficiency, SE)三類分析結果。檢視全台 22 縣市在低碳發展效率上的表現(見表五)，具相對總技術效率者有 4 個(佔 18.18%)，多數縣市處於相對無效率狀態，而在相對無效率的縣市中，59.09% 為中度相對效率者，⁸ 22.73% 為低度相對效率者。⁹

而在低碳發展效率上具有總技術效率的縣市，包括臺北市、新竹市、臺東縣、花蓮縣(如表五)，表示其在納入非意欲產出的外部性考量後(即碳排放威脅、環境污染衝擊)，亦具有相對發展效率。而此 4 縣市中，臺北市為全台政經文化核心，不僅發展程度較高、都市建設較完備，且集聚中高程度以上的三級產業，使其在意欲產出(即經濟產出效益、市政建設及發展效益、生活品質效益)的表現極佳，再加上其產業多非為污染性產業，以及適宜的環保政策(如垃圾費隨袋徵收)與環境管制機制，致使其環境汙染與資源消耗皆較其他縣市佳，故具有低碳發展效率，亦符合弱永續的發展型態；而新竹市則因科學園區的設置、適宜的環保政策與

⁸ 其餘指效率值介於 0.4 至 0.7 者。

⁹ 其餘指效率值介於 0.001 至 0.399 者。

環境管制機制，使其亦具有低碳發展效率；相對於上述二都市，臺東縣與花蓮縣則因開發較少，且所遭受的環境破壞較少，再加上當地多為觀光產業，甚少有高污染性的產業，以及環境保育機制的施行，致使其亦同樣具有低碳發展效率。

上述具有總技術效率的縣市，同時亦具有純技術效率與規模效率（如表五）。而在總技術效率上相對無效率的縣市中，如臺南市、嘉義市、臺中市、臺北縣、高雄市，因其具有純技術效率（如表五），故可知其無效率是肇因於規模的無效率，而非技術的無效率；而餘下的縣市，皆存在程度不等的規模與技術的無效率。

另外，以規模報酬而言，臺北市、新竹市、臺東縣、花蓮縣達規模報酬固定，表示已處於最適規模；其餘縣市皆呈現規模報酬遞增狀態，表示需適度擴大規模，以提昇整體效率。

表五 效率分析結果表

縣市	總技術效率	純技術效率	規模效率	參考集合次數
臺北市	1	1	1	19
新竹市	1	1	1	5
臺東縣	1	1	1	8
花蓮縣	1	1	1	11
臺南市	0.6611	1	0.6611	
嘉義市	0.5903	1	0.5903	
臺中市	0.5702	1	0.5702	
宜蘭縣	0.5264	0.7047	0.7470	
臺北縣	0.5100	1	0.5100	
高雄市	0.5074	1	0.5074	
臺南縣	0.4776	0.6391	0.7473	
屏東縣	0.4660	0.5329	0.8745	
苗栗縣	0.4657	0.4807	0.9688	
基隆市	0.4545	0.4704	0.9662	
嘉義縣	0.4516	0.4789	0.9429	
雲林縣	0.4346	0.5766	0.7537	
臺中縣	0.4146	0.6471	0.6407	
新竹縣	0.3977	0.5003	0.7948	
南投縣	0.3954	0.5022	0.7873	
桃園縣	0.3908	0.4932	0.7924	
彰化縣	0.3832	0.5520	0.6941	
高雄縣	0.3287	0.4042	0.8132	

資料來源：本研究整理

二、參考集合分析

參考集合分析用於檢視具相對有效率的決策單元被無效率決策單元作為改善效率的參考對象與次數，若某一決策單元被其他決策單元參考次數愈多，表示其相對有效率的穩健性愈強。而本研究藉此鑒別決策單元的有效率程度，除能避免有效率的決策單元過多，更能區別有效率決策單元的效率穩健程度。

根據 DEA 參考集合分析的結果顯示（見表五），臺北市被參考次數最多，高達 19 次；花蓮縣次之，被參考 11 次；而新竹市則最少，僅被參考 5 次。因此，相較於其他有效率的縣市，臺北市的效率穩健性最強，而新竹市則最弱。

三、差額變數分析

差額變數分析可就無效率單位的資源使用情形，提供改善的方向與程度，藉以瞭解決策單元與效率目標的差距程度與改善空間的大小。在應用上主要與效率值相結合，以進行投影分析，分析結果可提供相對效率值小於 1 之受評估單位，瞭解本身在投入資源及產出績效上須作多少程度的改善，方可達到相對有效率的境界。

各縣市在資源投入的減少上（見表六），如資源與能源投入、財政支出方面，皆顯示高雄縣、桃園縣需改善程度最大；在勞動力投入方面，則顯示彰化縣、新竹縣需改善程度最大。另在意欲產出的增加上，如市政建設及發展效益方面，顯示彰化縣、雲林縣待改善程度最大；而生活品質效益方面，則以高雄縣、臺中縣需改善程度最大。在非意欲產出的減少上，如碳排放威脅方面，以彰化縣、高雄縣需改善程度最大；環境污染衝擊方面，則以雲林縣、桃園縣需改善程度為最大。

表六 差額變數分析結果摘要表

減少資源投入	資源與能源投入	財政支出與資本投入	勞動力投入
縣市	桃園縣、高雄縣	高雄縣、桃園縣	彰化縣、新竹縣
增加意欲產出	市政建設及發展效益	生活品質效益	
縣市	彰化縣、雲林縣	高雄縣、臺中縣	
減少非意欲產出	碳排放威脅	環境污染衝擊	
縣市	彰化縣、高雄縣	雲林縣、桃園縣	

資料來源：本研究整理

此外，以行政區的改善而言（見表六），高雄縣是目前亟待改善的首要縣市，由於此縣市存在過量的資源投入，而且對環境與碳排放造成不少威脅，再加上經濟未發揮較佳的效益，因此，造成此縣市待改善的面向及程度為最大。

陸、低碳政策對縣市低碳發展效率之影響關係

本文透過 Tobit 模式分析低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果。首先，透過共線性檢定，其結果顯示各變數彼此間不具共線性（如表七）；另依據 LR 卡方值檢定所顯示的結果（如表七），則表示 Tobit 模式整體配適度良好。此外，根據 Tobit 的分析結果（如表七），顯示顯著影響縣市低碳發展效率的低碳政策分析變數，包括工廠家數、資源回收量、市區公車系統路線總長、具綠建築標章的建物數、綠地面積，亦即表示產業結構、資源循環利用、低碳運輸、低碳建築、碳匯規劃等低碳政策，對於縣市低碳發展效率是顯著有效的。以下分別詳述低碳政策各分析變數對於縣市低碳發展效率之影響效果：

一、「工廠家數」對「縣市低碳發展效率」之影響

工廠家數會對縣市低碳發展效率，產生顯著的負向影響效果，其係數值為 -0.2163，符合預期關係。此顯示當縣市的工廠家數增多時，表示該縣市二級產業數量愈多，其會消耗更多的資源投入，也會產生更多的碳排放量與環境污染的威脅，並降低生活品質，進而降低該縣市的低碳發展效率，相似於 Bi 等人（2011）、Dodman（2011）、Wang 等人（2014）、Zhang 等人（2011）之研究成果。該結果亦證實產業結構的低碳政策中，二級產業數量會負向影響縣市低碳發展效率值。

二、「太陽能熱水系統安裝件數」對「縣市低碳發展效率」之影響

太陽能熱水系統安裝件數對縣市低碳發展效率影響效果為不顯著，不符合預期關係。透過變數資料的檢視，顯示太陽能熱水系統裝設，嚴重受到日照因素（如日照天數、日照強度）的影響，而台灣北部的日照條件遠不如中南部，也因此，使得台灣中南部的裝設數量遠遠超過北部，故此變數無法有效呈現對縣市低碳發展效率之影響效果。

三、「資源回收量」對「縣市低碳發展效率」之影響

資源回收量會對縣市低碳發展效率，產生顯著的正向影響效果，其係數值為

0.1927，符合預期關係。該結果顯示當縣市的資源回收量愈多時，表示資源循環利用程度愈高，其除可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，進而提高該縣市的低碳發展效率，其與 Chen 與 Zhu (2013)、Oh (2014) 之研究成果相似。該結果亦可證實資源循環利用的低碳政策，會正向影響縣市低碳發展效率。

四、「市區公車系統路線總長」對「縣市低碳發展效率」之影響

市區公車系統路線總長會對縣市低碳發展效率，產生顯著的正向影響效果，其係數值為 0.0535，符合預期關係。該結果顯示當縣市的市區公車系統路線總長愈長時，表示公共運輸服務系統愈發達，其除可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，進而提高該縣市低碳發展效率。該結果亦可證實低碳運輸政策，會正向影響縣市低碳發展效率。

五、「具綠建築標章的建物數」對「縣市低碳發展效率」之影響

具綠建築標章的建物數會對縣市低碳發展效率，產生顯著的正向影響效果，其係數值為 0.0131，符合預期關係。該結果顯示當縣市的具綠建築標章的建物數愈多時，其除可節省所投入資源與能源外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，以及提高生活品質效益，並進而提高該縣市的低碳發展效率。該結果亦可證實低碳建築的政策，會正向影響縣市低碳發展效率。

六、「都市發展密度」對「縣市低碳發展效率」之影響

都市發展密度對縣市低碳發展效率影響效果為不顯著，不符合預期關係。而透過變數資料的檢視，顯示都市發展密度與縣市低碳發展效率間非存在線性關係，表示兩變數間非呈現線性的因果影響關係。

七、「綠地面積」對「縣市低碳發展效率」之影響

綠地面積會對縣市低碳發展效率，產生顯著的正向影響效果，其係數值為 0.2756，符合預期關係。該結果顯示當縣市綠地面積愈多時，其除可提高生活品質效益外，更能降低碳排放量與環境污染的威脅，並進而提高該縣市的低碳發展效率，其與 Vaccari 等人 (2013)、Weissert 等人 (2014) 之研究成果相似。該結果亦可證實碳匯規劃的低碳政策，會正向影響縣市低碳發展效率。

表七 Tobit 模式分析結果表

低碳政策	分析變數	係數	P-value	VIF
產業結構	工廠家數*	-0.2163	0.041	3.069
再生能源設備發展	太陽能熱水系統安裝件數	-0.0006	0.392	7.694
資源循環利用	資源回收量*	0.1927	0.029	5.319
低碳運輸	市區公車系統路線總長*	0.0535	0.038	3.517
低碳建築	具綠建築標章的建物數*	0.0131	0.048	3.869
低碳都市型態	都市發展密度	0.00019	0.275	5.228
碳匯規劃	綠地面積**	0.2756	0.009	4.651
-	截距項	0.1503	0.056	
LR $\chi^2(8)$	48.98**			
Number of observations: 22; uncensored observations: 18				
left-censored observations (at $y \leq 0$): 0 ; right-censored observations (at $y \geq 1$): 4				

註：* $P < 0.05$ ，** $P < 0.01$ ，*** $P < 0.001$

資料來源：本研究整理

柒、結論與建議

近年來，低碳發展議題備受全球重視，而各政府不僅相繼以低碳都市為發展目標，更推出許多低碳政策，設法達到此一目標。縣市在低碳的發展上，不應只強調目標的達成，更應著重發展效率的層面，並且應納入環境外部成本之考量；此外，關於影響低碳發展效率之政策或成因亦應進行深入探討。有鑑於此，本文納入縣市發展的負外部性（即非意欲產出），在考量非意欲產出下（碳排放威脅、環境污染衝擊），藉由 DEA 中的不良產出模型評估 2010 年台灣縣市低碳發展效率，並透過 Tobit Model 分析低碳政策對縣市低碳發展效率之影響效果。

本實證研究可達以下二方面之貢獻：一是提供縣市低碳發展效率評估之方式，該方式不僅能找出在低碳發展效率上相對具有效率之縣市，更能針對低碳發展無效率的縣市，提供相關的改善方向及建議，如本文透過 DEA 的不良產出模型，發現 2010 年臺北市、新竹市、臺東縣、花蓮縣在低碳發展效率上相對具有效率，且已達最適規模水準；其中，又以臺北市的效率穩健性最強，而新竹市則最弱。另外，

依據差額變數分析結果，發現高雄縣是目前亟待改善的首要縣市，而其改善面向包括：資源與能源投入、財政支出與資本投入、生活品質效益、碳排放威脅等。二是釐清影響縣市低碳發展效率的成因或政策，如工廠家數、資源回收量、市區公車系統路線總長、具綠建築標章的建物數、綠地面積等，確實對縣市低碳發展效率存在顯著影響；其中，除工廠家數是負向影響外，其餘變數皆呈正向影響效果。而上述各項實證成果，亦可作為政府進行低碳規劃與政策研擬時之參考。

而根據本文的實證成果，提出數項關於縣市低碳發展上之建議：首先，在產業發展與轉型方面，以往二級產業發展常將製造過程中所產生的環境汙染外部化，致使對自然及生態環境造成危害，因此，政府除訂定相關管制法規，以及有效監控與管理外，更應透過經濟誘因與適當的配套措施，將高污染性的二級產業，配合當地資源與特色，朝低汙染、低能耗、高效、高經濟效益的產業作轉型與發展。第二，過去因各縣市不同的環保政策（如垃圾隨袋徵收）與資源循環利用機制（如資源回收計畫、廢棄物的文藝創作），致使各縣市的環境品質、碳排放與資源投入狀態高低不同，雖然此些政策具有一定成效，但仍顯不足。故為了提高縣市的低碳發展效率，建議縣市政府應適當適地的調整環境保育與資源循環利用政策，並且加強其執行機制。第三，在再生能源相關產品的使用及推廣上，縣市政府除可率先採用外（如高雄市的太陽能共桿式路燈），亦可透過更實質的獎勵或補助機制，推廣再生能源產品（如電動車）的使用。第四，縣市政府除須根據自身特性及定位，制定低碳都市發展策略外，更須藉由實際規劃實踐來達成低碳發展目標，如健全大眾運輸系統，並提高其服務量、品質與水準，藉此減少私人運具的使用，進而減少運輸能源消耗與碳排放；又如建築設計須符合節能減排的要求，並納入低碳都市的長遠規劃之中；以及建設高品質的綠色基盤設施及網絡，並適時管理與維護，保持綠地的多功能性和多樣化，藉此增加碳吸存量。

最後，本議題在永續及低碳發展議題中逐漸受到重視，對於有興趣繼續研究的學者，本文提出以下數個可能方向供作參考。首先是擴充 DEA 評估中的投入及產出指標。本研究因受限於政府所建置的資料，雖已盡量囊括所有面向，但未仍臻全，故建議後續研究仍可再納入其他相關指標，以便更完整地進行評估。其次，因資料侷限性，本研究僅針對 2010 年進行分析，無法針對 DEA 評估結果（跨年期）穩定性進行分析，亦使得 DEA 評估結果的解釋上較適用於當年度（或相似情境年度），是故建議未來若資料許可，可再進一步進行不同時間點的動態分析及比較。

附錄一

非意欲產出效率模式中的不良產出模型簡要說明如下：

假設一評估系統內有 n 個決策單元，而每個決策單元分別有投入、意欲產出、非意欲產出三類，分別以 $x \in R^m$ 、 $y^g \in R^{S1}$ 、 $y^b \in R^{S2}$ 三個向量作表示，並定義 X 、 Y^g 、 Y^b 三個向量矩陣分別為： $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$ 、 $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{S1 \times n}$ 、 $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{S2 \times n}$ ，且 $X > 0$ 、 $Y^g > 0$ 、 $Y^b > 0$ ，其生產可能集合則定義如式 (3) 所示。

$$P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g \lambda, y^b \leq Y^b \lambda, \lambda \geq 0\} \dots\dots\dots (3)$$

根據式 (3)，則不良產出模型則列式如下式 (4)。其中， s^- 為投入過剩數量， s^g 為意欲產出過剩數量， s^b 為非意欲產出過剩數量：

$$\text{Min } \rho^* = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s1} \frac{s_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{r=1}^{s2} \frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

$$s.t. x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o^g = Y^g \lambda + s^g$$

$$y_o^b = Y^b \lambda + s^b$$

$$\lambda, s^-, s^g, s^b \geq 0$$

在式 (4) 中， $0 < \rho^* \leq 1$ 。若 $\rho^* = 1$ ，則 $s^- = 0, s^g = 0, s^b = 0$ ，表示該決策單元在不良產出模型中具相對效率；若 $\rho^* < 1$ ，表示該決策單元在不良產出模型中為無效率者。

附錄二

由於 DEA 部分評估指標的原始數據與單位不盡相同，且指標數值間相差懸殊，故透過式（5）進行轉換處理（鄧振源，2005）。

$$x_l^c = (x_l - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \dots\dots\dots (5)$$

x_l^c ：變數轉換後的指標值

x_l ：原始的指標值

x_{max} ：該指標中的最大值

x_{min} ：該指標中的最小值

參考文獻

- 行政院（2014）。**國家綠能低碳總行動方案 103 年度工作計畫**。臺北：行政院。
- 林楨家、楊恩捷（2006）。都市型態對旅運需求影響之結構化分析。**運輸學刊**，18（4），391-416。
- 鄧振源（2005）。**計畫評估：方法與應用**（二版）。基隆：運籌規劃與管理研究中心。
- Aragón-Correa, J. A. (1998). Strategic proactivity and firm approach to the natural environment. *The Academy of Management Journal*, 41(5), 556-567.
- Arcelus, F. J., & P. Arocena (2005). Productivity differences across OECD countries in the presence of environmental constraints. *Journal of the Operational Research Society*, 56(12), 1352-1362.
- Barkalow, G., G. Bemis, N. McKeever, S. Phinney, & J. Vinton (2007). *The role of land use in meeting California's energy and climate change goals*. California: California Energy Commission.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Bi, J., R. R. Zhang, H. K. Wang, M. M. Liu, & Y. Wu (2011). The benchmarks of carbon emissions and policy implications for China's cities: Case of Nanjing. *Energy Policy*, 39(9), 4785-4794.

- Boussofiane, A., R. G. Dyson, & E. Thanassoulis (1991). Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *52*(1), 1-15.
- Cai, B. F., J. N. Wang, W. S. Yang, L. C. Liu, & D. Cao (2012). Low carbon society in China: Research and practice. *Advances in Climate Change Research*, *3*(2), 106-120.
- Cervero, R. & K. Kockelman. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *2*(3), 199-219.
- Cervero, R. (1996). Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American housing survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *30*(5), 361-377.
- Chang, Y. T., N. Zhang, D. Danao, & N. Zhang (2013). Environmental efficiency analysis of transportation system in China: A non-radial DEA approach. *Energy Policy*, *58*, 277-283.
- Charmondusit, K. & K. Keartpakpraek (2011). Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the Map Ta Phut Industrial Estate, Thailand. *Journal of Cleaner Production*, *19*(2), 241-252.
- Chen, F., D. J. Zhu (2013). Theoretical research on low-carbon city and empirical study of Shanghai. *Habitat International*, *37*, 33-42.
- Chiu, Y. H., & M. F. Wu (2010). Environmental efficiency evaluation in China: Application of 'Undesirable' data envelopment analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, *19*(6), 1159-1169.
- Choy, L. H. T., W. K. O. Ho, & S. W. K. Mak (2013). Toward a low carbon Hong Kong: A proposal from the institutional perspective. *Habitat International*, *37*, 124-129.
- Coli, M., E. Nissi, & A. Rapposelli (2011). Monitoring environmental efficiency: An application to Italian provinces. *Environmental Modelling & Software*, *26*(1), 38-43.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford, & J. Zhu (2011). *Handbook on data envelopment analysis* (2nd Ed.). Boston: Springer.
- Cooper, W. W., L. M., Seiford & K. Tone (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Boston: Springer-Verlag.
- Deetman, S., A. F. Hof, & D. P. van Vuuren (2015). Deep CO₂ emission reductions in a global bottom-up model approach. *Climate Policy*, *15*(2), 253-271.

- Demchuk, P., & V. Zelenyuk (2009). Testing differences in efficiency of regions within a country: The case of Ukraine. *Journal of Productivity Analysis*, *32*(2), 81-102.
- Dodman, D. (2011). Forces driving urban greenhouse gas emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *3*(3), 121-125.
- Dunphy, R., & K. Fisher (1996). Transportation, congestion, and density: New insights. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1552*, 89-96.
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Annals of Statistics*, *7*(1), 1-26.
- Ewing, R., R. Pendall, & D. Chen (2003). Measuring sprawl and its transportation impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1831*, 175-183.
- Färe, R., S. Grosskopf, & C. A. Pasurka Jr. (2007). Environmental production functions and environmental directional distance functions. *Energy*, *32*(7), 1055-1066.
- Färe, R., S. Grosskopf, & C. A. Pasurka Jr. (2001). Accounting for air pollution emissions in measures of state manufacturing productivity growth. *Journal of Regional Science*, *41*(3), 381-409.
- Färe, R., S. Grosskopf, & F. Hernandez-Sancho (2004). Environmental performance: An index number approach. *Resource and Energy Economics*, *26*(4), 343-352.
- Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K.Lovell, & C. Pasurka (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, *71*(1), 90-98.
- Fortes, P., S. Simões, J. Seixas, D. Van Regemorter, & F. Ferreira (2013). Top-down and bottom-up modelling to support low-carbon scenarios: Climate policy implications. *Climate Policy*, *13*(3), 285-304.
- Giuliano, G., & D. Narayan (2003). Another look at travel patterns and urban form: The US and Great Britain. *Urban Studies*, *40*(11), 2295-2312.
- Grazi, F., J. C. J. M. van den Bergh, & J. N. van Ommeren (2008). An empirical analysis of urban form, transport, and global warming. *Energy Journal*, *29*(4), 97-122.
- Greene, W. H. (2012). *Econometric analysis* (7th Ed.). Boston: Prentice Hall.
- Haselip, J., U. E. Hansen, D. Puig, S. Trærup, & S. Dhar (2015). Governance, enabling frameworks and policies for the transfer and diffusion of low carbon and climate adaptation technologies in developing countries. *Climatic Change*, *131*(3), 363-370.
- He, F., Q. Zhang, J. Lei, W. Fu, & X. Xu (2013). Energy efficiency and productivity

- change of China's iron and steel industry: Accounting for undesirable outputs. *Energy Policy*, **54**, 204-213.
- Honma, S., & J. L. Hu (2008). Total-factor energy efficiency of regions in Japan. *Energy Policy*, **36**(2), 821-833.
- Honma, S., & J. L. Hu (2009). Efficient waste and pollution abatements for regions in Japan. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, **16**(4), 270-285.
- Hu, H. H., Q. H. Qi, & C. H. Yang (2012). Analysis of hospital technical efficiency in China: Effect of health insurance reform. *China Economic Review*, **23**(4), 865-877.
- Hu, J. L., & S. C. Wang (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, **34**(17), 3206-3217.
- Hu, J. L., S. C. Wang, & F. Y. Yeh (2006). Total-factor water efficiency of regions in China. *Resources Policy*, **31**(4), 217-230.
- Huang, R., & Y. Li (2013). Undesirable input-output two-phase DEA model in an environmental performance audit. *Mathematical and Computer Modelling*, **58**, 971-979.
- Kennedy, C., J. Steinberger, B. Gasson, Y. Hansen, T. Hillman, M. Havranek, ... G. V. Mendez (2009). Greenhouse gas emissions from global cities. *Environmental Science and Technology*, **43**(19), 7297-7302.
- Kharel, G. P., & K. Charmondusit (2008). Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal. *Journal of Cleaner Production*, **16**(13), 1379-1387.
- Kumar, S. (2006). Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index. *Ecological Economics*, **56**(2), 280-293.
- Li, X. G., J. Yang, & X. J. Liu (2013). Analysis of Beijing's environmental efficiency and related factors using a DEA model that considers undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modelling*, **58**, 956-960.
- Lin, J. Y., B. Cao, S. H. Cui, W. Wang, & X. M. Bai (2010). Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: The case of Xiamen city, China. *Energy Policy*, **38**(9), 5123-5132.
- Lu, C. C., Y. H. Chiu, M. K. Shyu, & J. H. Lee (2013). Measuring CO₂ emission efficiency in OECD countries: Application of the hybrid efficiency model. *Economic Modelling*, **32**, 130-135.
- Meng, F. Y., L. W. Fan, P. Zhou, & D. Q. Zhou (2013). Measuring environmental performance in China's industrial sectors with non-radial DEA. *Mathematical*

- and Computer Modelling*, **58**, 1047-1056.
- Oh, D. S. (2014). The comparative analysis on critical planning methods and application condition of low-carbon green city. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, **15**(4), 2491-2502.
- Olesen, O. B., & N. C. Petersen (1995). Incorporating quality into data envelopment analysis: A stochastic dominance approach. *International Journal of Production Economics*, **39**, 117-135.
- Phdungsilp, A. (2010). Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: Policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy*, **38**(9), 4808-4817.
- Pittman, R. W. (1983). Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. *Economic Journal*, **93**(372), 883-891.
- Rao, X., J. Wu, Z. Y. Zhang, & B. Liu (2012). Energy efficiency and energy saving potential in China: An analysis based on slacks-based measure model. *Computers & Industrial Engineering*, **63**(3), 578-584.
- Revetz, J. (2000). *City-region 2020: Integrated planning for a sustainable environment*. London: Routledge.
- Russo, M. V., & P. A. Fouts (1997). A resource-based perspective on corporate environmental performance and profitability. *The Academy of Management Journal*, **40**(3), 534-559.
- Seiford, L. M., & J. Zhu (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, **142**(1), 16-20.
- Skea, J., & S. Nishioka (2008). Policies and practices for a low-carbon society. *Climate Policy*, **8**(sup1), S5-S16.
- Song, M., Y. Song, Q. An, & H. Yu (2013). Review of environmental efficiency and its influencing factors in China: 1998-2009. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **20**, 8-14.
- Su, M. R., B. Chen, T. Xing, C. Chen, & Z. F. Yang (2012). Development of low-carbon city in China: Where will it go? *Procedia Environmental Sciences*, **13**, 1143-1148.
- Tao, Y., & S. Zhang (2013). Environmental efficiency of electric power industry in the Yangtze River Delta. *Mathematical and Computer Modelling*, **58**, 927-935.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, **130**(3), 498-509.
- Tone, K. (2003). *Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure*

- (SBM) approach.** Tokyo: National Graduate Institute for Policy Studies.
- Tsolas, I. E. (2011). Performance assessment of mining operations using nonparametric production analysis: A bootstrapping approach in DEA. *Resources Policy*, **36**(2), 159-167.
- Tyteca, D. (1996). On the measurement of the environmental performance of firms: A literature review and a productive efficiency perspective. *Journal of Environmental Management*, **46**(3), 281-308.
- Vaccari, F. P., B. Gioli, P. Toscano, & C. Perrone (2013). Carbon dioxide balance assessment of the city of Florence (Italy), and implications for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, **120**, 138-146.
- Wang, H. S., Y. X. Wang, H. K. Wang, M. M. Liu, Y. X. Zhang, R. R. Zhang, ... J. Bi, (2014). Mitigating greenhouse gas emissions from China's cities: Case study of Suzhou. *Energy Policy*, **68**, 482-489.
- Wang, K., Y. M., Wei, & X. Zhang (2012). A comparative analysis of China's regional energy and emission performance: Which is the better way to deal with undesirable outputs? *Energy Policy*, **46**, 574-584.
- Wang, N. N., & Y. C. Chang (2014). The development of policy instruments in supporting low-carbon governance in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **35**, 126-135.
- Weissert, L. F., J. A., Salmond & L. Schwendenmann (2014). A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO₂ emissions. *Urban Climate*, **8**, 100-125.
- Wu, F., L. W. Fan, P. Zhou & D. Q. Zhou (2012). Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China: A nonparametric analysis. *Energy Policy*, **49**, 164-172.
- Wu, J., Q. X. An, B. B. Xiong, & Y. Chen (2013). Congestion measurement for regional industries in China: A data envelopment analysis approach with undesirable outputs. *Energy Policy*, **57**, 7-13.
- Zaim, O., & F. Taskin (2000). Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach. *Journal of Environmental Management*, **58**(2), 95-107.
- Zhang, B., J. Bi, Z. Fan, Z. Yuan, & J. Ge (2008). Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, **68**, 306-316.
- Zhang, L. X., Y. Y. Feng, & B. Chen (2011). Alternative scenarios for the development of a low-carbon city: A case study of Beijing, China. *Energies*, **4**(12), 2295-

2310.

- Zhang, L. X., Z. F. Yang, J. Liang, & Y. P. Cai (2011). Spatial variation and distribution of urban energy consumptions from cities in China. *Energies*, *4*(1), 26-38.
- Zhang, N., & Y. Choi (2013). Environmental energy efficiency of China's regional economies: A non-oriented slacks-based measure analysis. *Social Science Journal*, *50*(2), 225-234.
- Zhou, P., B. W. Ang, & J. Y. Han (2010). Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis. *Energy Economics*, *32*(1), 194-201.
- Zhou, P., B. W. Ang, & K. L. Poh (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. *Ecological Economics*, *60*(1), 111-118.
- Zhou, P., K. L. Poh, & B. W. Ang (2007). A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal of Operational Research*, *178*(1), 1-9.
- Zofio, J. L., & A. M. Prieto (2001). Environmental efficiency and regulatory standards: The case of CO₂ emissions from OECD industries. *Resource and Energy Economics*, *23*(1), 63-83.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers & W. W. Behrens III (1972). *The limits to growth: A report for the club of rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.

Evaluating the Low-Carbon Efficiency of the City and Analyzing Its Influential Factors

Yu-Sheng Shen, Hsiao-Lan Liu*

Abstract

Facing the disasters and threats stemming from global warming and climate change, most city governments in the world have set up low-carbon development as a goal, and drawn up low-carbon policies to achieve this goal. However, the effects of those low-carbon policies are not possible to clarify. The development of the city/county has brought about economic benefits, but it also consumed significant resources and produced carbon emissions and environmental pollutants. Therefore, how to evaluate benefit and loss comprehensively and offer improvable recommendations is a key issue in the sustainable and low-carbon development of the city/county. In the past, most researchers evaluated low-carbon efficiency by indicators, and proceeded to their evaluation without considering the negative externalities arising from development, therefore, making inaccurate assessments of low-carbon efficiency evaluation. Thus, this paper assesses the low-carbon efficiency of the city by the Bad Outputs model of the DEA, and analyzes its influential policies by the Tobit model. According to the results of the Bad Outputs Model, Taipei City, Hsinchu City, Taitung County, and Hualien County are efficient, and have achieved an optimal scale level. Another result of the Tobit model indicates that

* Yu-Sheng Shen, Postdoctoral Fellow, Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica, email: 98257501@nccu.edu.tw.

Hsiao-Lan Liu, Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University.

the industrial unit has a negative impact on the low-carbon efficiency of the city. Moreover, resource recovery, the total length of the urban bus route, green buildings, and green areas all have a positive impact on the low-carbon efficiency of the city.

Keywords: low-carbon efficiency of city, undesirable outputs, bad Outputs model, low-carbon policy, Tobit model