

能源效率的衡量與演進 – 以波羅的海地區國家為例

張民忠（開南大學行銷學系 教授）

文章資訊

接受日期：2015.09.30

關鍵詞：

- 總要素能源效率
- 能源密集度改善空間
- 波羅的海地區

內文摘要 (Abstract)

能源效率提升可減少能源使用以及減少二氧化碳排放，對於抑制全球暖化，減緩氣候變遷可謂源頭管制。波羅的海地區(Baltic Sea region)的國家與歐洲議會(European Commission)於1999年組成波羅的海地區能源合作(Baltic Sea Region Energy Cooperation; BASREC)組織，為地區的經濟與環境永續發展共同努力。本文以傳統的能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標，來衡量波羅的海地區國家的能源效率，並且指出三種指標衡量結果的差異性。研究結果顯示：(a)生產要素的替代性對於能源效率是有影響的；(b)總要素能源效率指標與能源密集度改善空間指標的能源效率排序是一致的，與傳統能源密集度衡量能源效率的排序差異很大；(c)依據總要素概念所建構的能源密集度改善空間指標，相較於傳統的能源密集度指標可以提供更多的訊息。

壹、導論

全球暖化、氣候變遷是世界各國面臨的共同問題。氣候變遷使得全球各地大澇與大旱等天災不斷發生，雨水分部不均、酸雨頻率的提高影響農作生長，糧食安全問題也因為全球暖化與氣候變遷，繼馬爾薩斯(Malthus)的擔憂之後再次浮上檯面。要抑制全球暖化與氣候變遷，首要任務就是管制溫室氣體(greenhouse gas)排放，然而二氧化碳(carbon dioxide; CO₂)又是溫室氣體排放的大宗；化石燃料的使用是二氧化碳的主要來源，因此提高能源效率(energy efficiency)是防止全球暖化、抑制氣候變遷的源頭工作。傳統上，以能源密集度(energy intensity; EI)，亦即能源使用量(energy use)除以國內生產毛額(gross domestic production; GDP)，來監督能源使用效率，其指標的用意在於檢視一單位GDP的創造需要使用多少能源。當數值愈小(大)表示創造一單位GDP只需要少(大)量的能源使用，能源效率高(低)。由於能源密集度指標意義簡單明瞭，所以這個指標經常被用於評估一個國家的能源使用效率。舉例而言，波羅的海地區能源合作(Baltic Sea Region Energy Cooperation; BASREC)組織成立於1999年，為了地區的永續發展，監控該地區能源使用狀況，因此建構永續發展能源指標(energy indicators for sustainable development; EISD)，能源密集度指標就是其中一項指標。

利用能源密集度指標作為分析工具的研究很多，以下列舉部分文獻其研究對象皆為近年來經濟表現出色的中國大陸，屬於應用的文獻計有Sinton and Levine (1994)，Zhang (2003)，Fisher-Vanden et al. (2004)以及Ma and Stern (2008)；然而也有一些能源密集度指標的理論分析文章，例如Sun (1998)。Hu and Wang (2006)提出總要素能源密集度(total-factor energy efficiency; TFEE)的概念後，使得能源效率的評估有了一翻新的思維，也因此傳統使用的能源密集度指標被稱為單一要素能源效率(single-factor energy efficiency; SFEE)指標。總要素能源效率指標是建立在資料包絡分析法(data envelopment analysis; DEA)的基礎上，與傳統單一要素能源效率指標最大的差異在於，總要素能源效率指標考量了生產要素間的替代性(sustainability)。詳言之，資本(capital)、勞動(labors)與能源(energy)皆為必要的投入要素，投

入要素之間的替代性也會影響能源效率，若能源於其他生產要素間的替代性很高，多投入資本與勞動以減少能源使用，可以提高能源效率；反之若能源於其他生產要素間的替代性很低，資本與勞動的投入增加也無法減少能源使用，此時能源效率較低，由此可知投入要素替代性確實會影響能源效率。總要素能源效率的概念已廣泛地被專家學者接受，此方法應用的文獻很多，列舉如下：Honma and Hu (2008, 2014), Zhou et al. (2008), Fang et al. (2013)以及 Zhao et al. (2014)；也有一些研究對此方法進行理論分析，這類文章有Chang (2013)以及Wu et al. (2014)。

傳統能源密集度指標簡單明瞭但缺乏生產要素間替代性之考量。為了彌補能源密集度指標的缺失，Chang (2014a)將傳統的能源密集度指標融入總要素的概念，建構總要素能源密集度(total-factor energy intensity)指標以及能源密集度改善空間(the room for improvement in energy intensity)等指標以衡量能源效率。此方法也已經被廣泛應用到學術研究，相關文章有Li and Lin (2015), Chang (2015)以及Beaudreau and Lightfoot (2015)。本研究擬使用傳統能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標，以波羅的海地區的國家為樣本，對該地區國家的能源效率進行評估，並且分析三種指標評估的差異性。本文使用波羅的海地區的國家為分析對象的意義在於，此區域某些國家為前共產國家，但現在的經濟發展非常迅速，這些國家包含愛沙尼亞、立陶宛、拉脫維亞、波蘭和俄羅斯，甚至在Streimikiene (2007)的研究中發現，近年來愛沙尼亞、立陶宛、拉脫維亞以及波蘭的能源密集度已有明顯的降低，已接近地區已開發國家的水準。然而，對此地區國家進行能源效率研究的文章卻很少，可供參考的文章有Bahgat (2006), Streimikiene (2007)以及Chang (2014b)。對波羅的海國家進行能源效率研究是必要的，因為此地區的國家已和歐洲議會(European Commission)國家共同組成波羅的海地區能源合作組織，以社會、經濟以及環境為三大主軸為此地區的永續發展而努力。此地區的經濟發展具有潛力，然而經濟發展與環境永續的步調是否一致，有賴於能源效率指標的檢視。

本文的其餘架構如下：第二節為研究方法介紹，第三節為實證分析與討論，最後為結論與建議。

貳、研究方法

本節將介紹能源效率的衡量方法，包含傳統的能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度的改善空間指標。能源密集度被定義為能源使用量除以GDP，其數學公式表示如下：

$$EI = E / GDP \quad (1)$$

其中EI表示能源密集度，E表示能源使用量。當使用愈少的能源，產出較多的GDP，表示能源密集度很低，能源效率高；相反的，當使用很多的能源，卻產出很少的GDP，表示能源密集度很高，能源效率很低。

總要素能源效率指標是以資料包絡分析法為基礎。因此我們先介紹資料包絡分析法的概念，循序漸進的介紹總要素能源效率指標。Farrell (1957)是最早使用多投入多產出的概念去計算效率值，可謂資料包絡分析法的先驅。資料包絡分析法的出現始於Charnes et al. (1978)使用線性規劃法建構生產前緣(production frontier)，依據效率前緣計算效率值。Charnes et al.

(1978)的模型被稱為CCR模型，其前提假設是生產函數為固定規模報酬(constant return to scale; CRS)。Banker et al. (1984)將生產函數的假設改為變動規模報酬(variable return to scale; VRS)以計算效率值，此模型被稱為BCC模型。不論是CCR模型或是BCC模型，又可依據產出導向(output oriented)或是投入導向(input oriented)以計算效率值。由於能源為重要生產要素之觀點廣為學者所接受，所以傳統上只使用資本與勞動為生產要素的既定格式就此改變。Hu and Wang (2006)強調能源效率的評估，而且能源又為生產時的投入要素之一，所以Hu and Wang (2006)的總要素能源效率指標是依據投入導向之CCR模型所建立的。又因為Hu and Wang (2006)是利用DEA的方法探討總要素能源效率的第一篇文章且能源為重要的投入要素之一，所以本文將聚焦於投入導向之CCR模型的介紹，這個模型也是Hu and Wang (2006)所應用的模型。

假設現有N個受評單位(decision making unit; DMU)，每個受評單位有K種投入，M種產出。因此，投入矩陣X可以表示為K×N，產出矩陣Y可以表示為M×N，第i個受評單位之投入向量與產出向量可以分別表示為xi以及yi。基於投入導向之CCR模型，可以使用下列線性規劃模型求得第i個受評單位之效率值φ如下：

$$\begin{aligned}
 & \underset{\phi}{\text{Min}} \quad \phi \\
 & \text{s.t. } Y\lambda \leq y_i \\
 & X\lambda \geq \phi x_i - \varepsilon x_i \\
 & \lambda \geq 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

其中 $\phi \in [0, 1]$ 且 $\varepsilon x_i \in \mathbf{R}^+$ ，分別定義為效率值(efficiency score)以及投入剩餘(input slack)。當效率值等於1表示受評單位的投入是有效率的；若效率值愈小，表示投入愈無效率， εx_i 表示受評單位達到投入效率時的投入剩餘。以圖1說明如下：假設受評單位使用兩種生產要素x1與x2生產一種產出y。現有四個受評單位A、B、C、D，其中A與B位於效率前緣ff，C與D則遠離效率前緣。其分佈位置顯示，A與B是具有生產效率的，其效率值為1；然而C與D是不具生產效率的，其效率值分別為 $\overline{OC'}/\overline{OC}$ 以及 $\overline{OD'}/\overline{OD}$ 。然而就C而言，雖然其調整投入後達到生產效率點C'，但是其投入要素x2仍然有 $\overline{C'A}$ 的投入剩餘，因此維持效率水準不變，C可以再減少x2的投入 $\overline{C'A}$ 。

Hu and Wang (2006)總要素能源效率指標可由方程式(2)搭配圖1說明。令投入要素x2為能源使用量，受評單位C的總要素能源效率之衡量方式如下：

$$\text{TFEE} = \frac{\phi x_2 - \overline{C'A}}{x_2}, \tag{3}$$

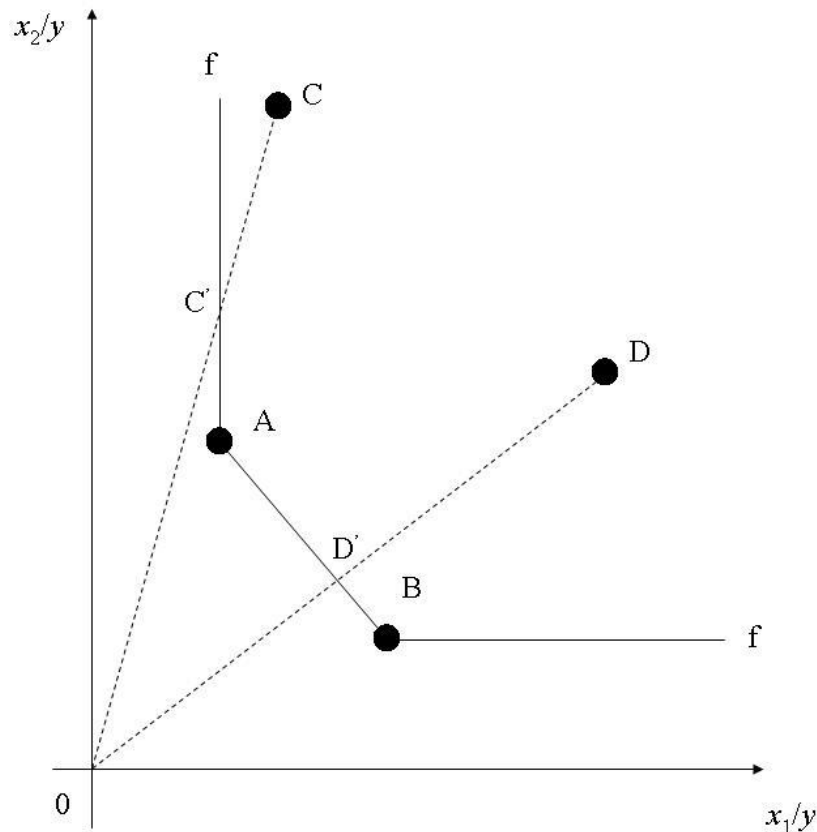


圖 1 效率值與投入剩餘

其中 x_2 為真實的能源使用量(actual energy use)， $(\phi x_2 - \overline{C'A})$ 為目標的能源使用量(target energy use)。根據方程式(2)與圖1，能源密集度(EI)為 x_2/GDP ，目標能源密集度為(target energy intensity; TEI)為 $(\phi x_2 - \overline{C'A})/\text{GDP}$ ，Chang (2014a)定義能源密集度改善空間(RIEI)指標為

$$\text{RIEI} = \left(\frac{\text{EI} - \text{TEI}}{\text{EI}} \right) \times 100\% \tag{4}$$

由於傳統的能源密集度指標忽略了生產要素間的替代性，因此Hu and Wang (2006)以資料包絡分析法為基礎，發展出總要素能源效率指標。然而，使用能源密集度來表示能源效率會令決策者產生一些疑惑，亦即雖然能源密集度降低，表示能源效率提升，但是能源密集度會不會距離目標值愈來愈遠，這顯示能源效率惡化。為了使能源密集度指標透露更多的訊息，Chang (2014a)也以資料包絡分析法為基礎，提出能源密集度改善空間的概念。

參、實證分析與討論

本節將使用波羅的海地區的國家2005年至2009年的資料檢視：(a)要素替代性對於能源效率評估的影響，亦即傳統能源密集度指標與總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指

標的分析比較；(b)能源密集度改善空間指標是否提供更多能源效率的資訊，亦即能源密集度指標與能源密集度改善空間指標的分析比較；表1為實證資料之敘述統計。

表 1 資料敘述統計

	投入項			產出項
	實質資本 (百萬美元)	勞動 (千人)	能源使用量 (百萬噸油當量)	實質GDP (百萬美元)
平均	440074.660	14970.036	113466.259	635648.043
最大值	3398135.304	84646.212	688482.709	3800122.807
最小值	10872.338	218.099	3480.473	13515.480
標準差	707303.867	25160.719	198560.480	990401.860

由表1得知，波羅的海國家的實質國民生產毛額差異很大，其原因在於波羅的海國家之中，愛沙尼亞、立陶宛、拉脫維亞、波蘭以及俄羅斯皆屬於前共產國，經濟發展較為落後，近年來這些國家的經濟成長率十分可觀。其餘國家包含德國、丹麥、芬蘭、冰島、挪威以及瑞典屬於市場經濟國家，其經濟發展較為成熟。就投入要素而言，實質資本的變異數大於能源使用量的變異數，這個結果顯示波羅的海國家發展的差異主要來自於資本的運用，能源使用量的多寡並非經濟發展差異的主要因素，因為有些國家經濟高度發展，但是能源使用量很少。德國被世界公認為乾淨能源技術先進國家，其經濟發展對於化石燃料的依賴度逐漸降低；俄羅斯為能源生產大國，其經濟發展仍然十分依賴化石燃料。

表 2 三種能源效率衡量指標與評估結果排序

	傳統能源密集度指標		總要素能源效率		能源密集度改善空間指標	
	(平均值)	排序	指標 (平均值)	排序	(平均值)	排序
德國	0.097	3	1.000	1	0%	1
丹麥	0.059	1	1.000	1	0%	1
愛沙尼亞	0.246	10	0.940	5	6%	5
芬蘭	0.141	5	0.725	10	28%	10
冰島	0.228	9	0.580	11	42%	11
立陶宛	0.223	8	0.915	6	9%	6
拉脫維亞	0.157	6	0.989	4	1%	4
挪威	0.070	2	1.000	1	0%	1
波蘭	0.220	7	0.898	7	10%	7
俄羅斯	0.441	11	0.854	9	15%	9
瑞典	0.107	4	0.895	8	10%	7

我們使用方程式(1)，(3)以及(4)，以波羅的海國家為例，使用傳統能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標，分別計算各國的能源效率，其資料期間之能源效率平均值整理於表2。就傳統能源密集度指標而言，數值愈小表示能源效率愈高，反之則能源效率較低；就總要素能源效率指標而言，數值愈大表示能源效率愈高，反之則能源效率較低；就能源密集度改善空間指標而言，數值愈大表示改善空間愈大，能源效率較低，反之

則能源效率較高。將三種指標的衡量結果加以排序，排序數字愈小表示能源效率愈高。依據排序結果發現，不論使用何種指標來衡量能源效率，德國、丹麥以及挪威的能源效率皆名列前三名，對於能源效率較低的國家評比結果，傳統能源密集度指標與其他兩個指標的衡量結果差異很大。然而，總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標的排序結果，幾乎一樣。我們利用表3來檢視三種指標衡量結果的相關係數(correlation coefficient)，結果發現總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標之評比結果的相關係數為-1，表示總要素能源效率值愈高(低)，能源密集度的改善空間愈小(大)。傳統能源密集度指標的排序結果與其他兩個指標的排序結果相關性大約為50%。因為能源密集度愈低(高)，表示能源效率愈高(低)，故傳統能源密集度指標與總要素能源效率指標之評比結果的相關係數為負。又能源密集度愈低(高)，表示能源密集度改善空間愈小(大)，故傳統能源密集度指標與能源密集度改善空間指標之評比結果的相關係數為正。

表 3 三種能源效率指標評比值之相關係數

	傳統能源密集度指標	總要素能源效率指標	能源密集度改善空間指標
傳統能源密集度指標	1	-0.510	0.510
總要素能源效率指標	-	1	-1
能源密集度改善空間指標	-	-	1

總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標是基於資料包絡分析法而發展，衡量能源效率時已考慮生產要素的替代性；然而傳統能源密集度指標著重於單一要素的生產情形，而忽略了生產要素間的替代性，因此造成衡量結果的差異性。以表2的結果為例，在傳統能源密集度指標的衡量下，俄羅斯的能源效率最差，這是因為俄羅斯為能源生產大國，能源價格低廉，故大量使用能源作為生產投入以創造經濟價值。Streimikiene (2007)也使用傳統能源密集度指標對波羅的海地區的國家作能源效率評估，其結果顯示自1993年起至2003年，俄羅斯是受評估國家中能源效率最差的國家。然而，總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標衡量的結果顯示，冰島是能源效率最差的國家。這個結果顯示，冰島在生產上能源的替代性差，亦即冰島無法靈活的使用資本與(或)勞動來替代能源以創造經濟價值。因此我們可以得到結論，冰島在生產上的能源替代性較俄羅斯差，由此我們可以看到能源替代性對於能源效率的影響。

圖2顯示波羅的海國家，在三種能源效率指標的衡量下，各年度能源效率平均值的趨勢圖。趨勢圖顯示，總要素能源效率指標的評比結果與能源密集度改善空間指標的評比結果其平均值趨勢是一致的，只是方向相反，這是因為這兩種指標的衡量結果之相關係數為-1；唯有傳統能源密集度指標的評比結果平均值之趨勢與另外兩個指標的結果有很大的差異，這是因為傳統能源密集度指標的評比結果與其他兩者的評比結果之相關係數較低所致。此外由圖2我們發現，能源密集度改善空間指標相較於傳統能源密集度指標，可以提供更多的資訊，理由如下：在2006年至2007年間，傳統能源密集度指標衡量的結果顯示，波羅的海地區的國家其能源效率改善，因為能源密集度下降；然而，能源密集度改善空間指標衡量的結果顯示，在2006年至2007年間，該地區能源密集度的改善空間增加，亦即該地區能源效率惡化。另外在2008年至2009年間，傳統能源密集度指標衡量的結果顯示，波羅的海地區的國家能源效率惡化，因為能源密集度上升；但是，能源密集度改善空間指標衡量的結果顯示，在此期間該地區的能源密集度改善空間大幅增加，亦即該地區能源效率惡化的程度比傳統能源密集度指

標衡量的結果更嚴重。由此我們發現，能源密集度改善空間指標比傳統能源密集度指標可以提供更多的訊息，這個結論已在Chang (2014a)被提出。

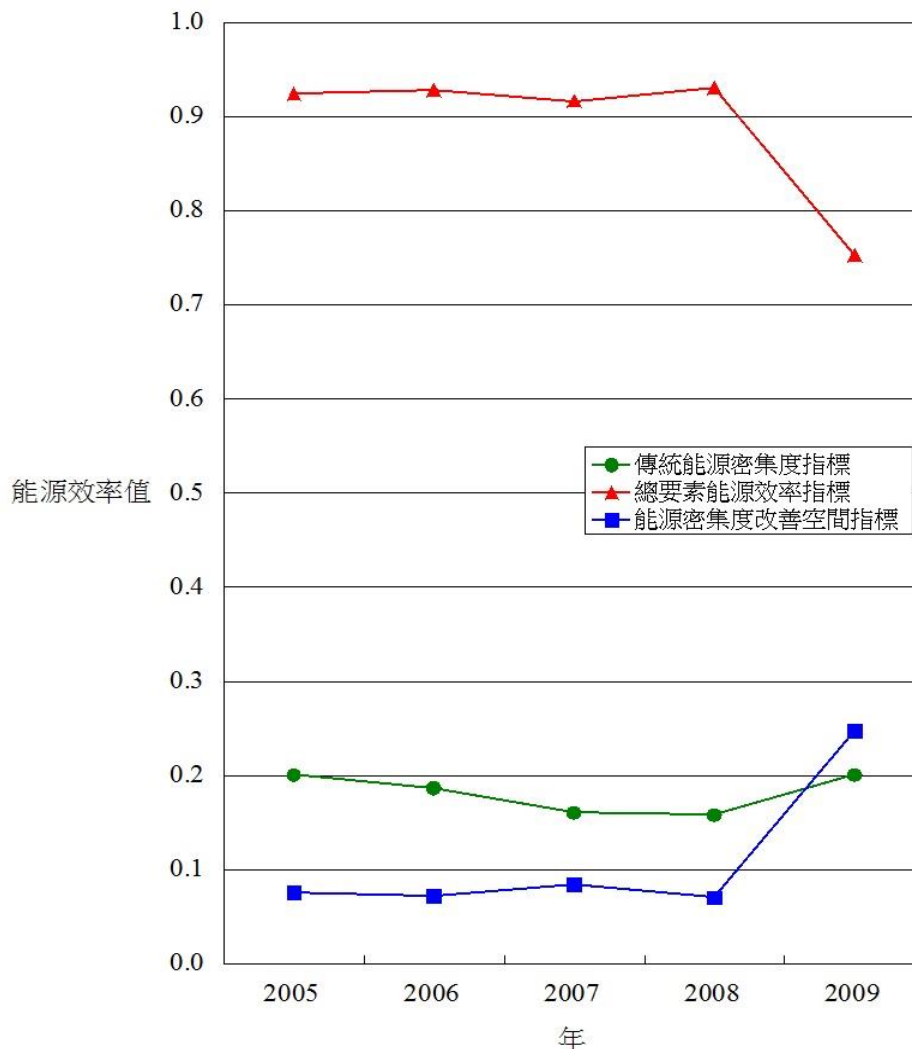


圖 2 三種能源效率指標衡量結果趨勢圖

肆、結論與建議

經濟發展改善人類的生活品質，但是也為人類帶來生態浩劫，全球暖化與氣候變遷是全球國家乃至於全人類面臨共同的問題。自從工業革命之後，人類的生產活動擺脫了對自然動力的倚賴，生產活動透過化石燃料的使用取得動能。大量能源的使用產生溫室氣體，由於溫室氣體累積的速度遠大於大自然自清能力(self-cleaning ability)造成地球不斷增溫，全球暖化的結果導致氣候變遷。能源效率的提升是抑制全球暖化、減緩氣候變遷的方法，因此世界各國政府無不制訂能源政策，為地球永續發展盡一份心力。能源政策是否有效提升能源效率需要能源效率指標客觀的評估。波羅的海能源合作組織於1999年由波羅的海地區國家以及歐洲議會共同組成，為了區域永續發展建構永續發展能源指標，以監控該地區的能源使用狀態。其使用的指標中，有一個指標為能源密集度，這個指標簡單且易懂，但是能源只是投入要素

的一種，生產活動尚須倚賴資本、勞動等投入要素。因此，投入要素間的替代性對於能源效率是有一定的影響力。

近來總要素能源效率指標非常盛行，因為該指標考量要素之間的替代性之後，再計算能源效率。最近的一些研究是以總要素的概念為基礎，將生產要素間的替代性融入了傳統能源密集度指標中，定名為總要素能源密集度指標，又依據此指標建構能源密集度改善空間的衡量指標。這篇研究使用傳統能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標，針對波羅的海地區國家的能源效率進行評估，同時比較這三種能源效率指標衡量結果的差異性。由於波羅的海地區的國家不但加入了歐盟(European Union)領導的波羅的海能源合作組織，而且近年來此地區國家的經濟發展非常快速，對此地區的國家進行能源效率評估，可檢視經濟發展與環境永續的步調是否一致，同時可以警惕能源效率較差的國家。

研究結果顯示，總要素能源效率指標與能源密集度改善空間指標對於波羅的海國家之能源效率評比結果之排序是一致的，但是傳統能源密集度對於波羅的海國家的能源效率評比結果的排序與前兩個指標差異很大。詳言之，這三個能源效率指標對於能源效率排序前三名的國家，評比結果是一致的，丹麥、挪威與德國；但是對於能源效率排序後面的國家，三種指標評比的結果差異很大。傳統能源密集度指標、總要素能源效率指標以及能源密集度改善空間指標，評比能源效率最差的國家分別為俄羅斯、冰島以及冰島。後兩個指標的評比結果是一致的，其原因在於兩者皆考慮了投入要素的替代性，但是傳統能源密集度指標沒有考量投入要素替代性，所以得到不同結果。由三個指標的評比結果推論，俄羅斯為能源大國，能源成本較低廉，所以大量使用能源創造經濟價值，因此若不考慮能源替代性，其能源效率是最差的。若衡量能源效率加入能源替代性的考量，則能源效率最差的國家是冰島。這個結果隱含冰島的生產投入要素，資本、勞動與能源的替代性很低，在冰島能源是無法被資本與勞動取代的生產要素，這和冰島的氣候寒冷以及以漁撈為主要產業需要使用大量能源有關。

本研究以波羅的海國家為例，使用三種能源效率評估指標對於樣本國家進行能源效率評估與排序，由三種能源效率評估指標評比結果的差異性推論，生產要素間的替代性對於能源效率確實有影響。建議未來要提升能源效率，可由提高能源替代性著手，例如以資本和(或)勞動取代能源使用，或是開發乾淨能源以取代化石燃料的使用。

參考文獻

1. Bahgat, G. (2006), "Europe's Energy Security: Challenges and Opportunities," *International affairs*, 82, 961-975.
2. Banker, R. D., A., Charnes and W. W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management science*, 30, 1078-1092.
3. Beaudreau, B. C. and H. D. Lightfoot (2015), "The Physical Limits to Economic Growth by R&D Funded Innovation," *Energy*, 84, 45-52.
4. Chang, M. C. (2013), "A Comment on the Calculation of the Total-factor Energy Efficiency (TFEE) Index," *Energy Policy*, 53, 500-504.
5. Chang, M. C. (2014a), "Energy Intensity, Target Level of Energy Intensity, and Room for Improvement in Energy Intensity: An Application to the Study of Regions in the EU," *Energy Policy*, 67, 648-655.
6. Chang, M. C. (2014b), "Regional Cooperation in the EU's Baltic Sea Region and Non-Baltic Sea Region: Environment and Energy," *Actual Problems of Economics*, 6, 62-72.
7. Chang, M. C. (2015), "Room for Improvement in Low Carbon Economies of G7 and BRICS

- Countries based on the Analysis of Energy Efficiency and Environmental Kuznets curves,” *Journal of Cleaner Production*, 99, 140-151.
8. Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European journal of operational research*, 2, 429-444.
 9. Fang, C. Y., J. L. Hu and T. K. Lou (2013), “Environment-adjusted Total-factor Energy Efficiency of Taiwan’s Service Sectors,” *Energy Policy*, 63, 1160-1168.
 10. Farrell, M. J. (1957), “The Measurement of Productive Efficiency,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 253-290.
 11. Fisher-Vanden, K., G. H. Jefferson, H. Liu and Q. Tao (2004), “What is Driving China’s Decline in Energy Intensity?” *Resource and Energy Economics*, 26, 77-97.
 12. Honma, S. and J. L. Hu (2008), “Total-factor Energy Efficiency of Regions in Japan,” *Energy Policy*, 36, 821-833.
 13. Honma, S. and J. L. Hu (2014), “Industry-level Total-factor Energy Efficiency in Developed Countries: A Japan-centered Analysis,” *Applied Energy*, 119, 67-78.
 14. Hu, J. L. and S. C. Wang (2006), “Total-factor Energy Efficiency of Regions in China,” *Energy Policy*, 34, 3206-3217.
 15. Li, K. and B. Lin (2015), “The Improvement Gap in Energy Intensity: Analysis of China’s Thirty Provincial Regions using the Improved DEA (Data Envelopment Analysis) Model,” *Energy*, 84, 589-599.
 16. Ma, C. and D. I. Stern (2008), “China’s Changing Energy Intensity Trend: A Decomposition Analysis,” *Energy Economics*, 30, 1037-1053.
 17. Sinton, J. E. and M. D. Levine (1994), “Changing Energy Intensity in Chinese Industry: The Relatively Importance of Structural Shift and Intensity Change,” *Energy Policy*, 22, 239-255.
 18. Streimikiene, D. (2007), “Monitoring of Energy Supply Sustainability in the Baltic Sea region,” *Energy Policy*, 35, 1658-1674.
 19. Sun, J. (1998), “Changes in Energy Consumption and Energy Intensity: A Complete Decomposition Model,” *Energy economics*, 20, 85-100.
 20. Wu, F., P. Zhou and D. Q. Zhou (2014), “Does Congestion Affect Total-factor Energy Efficiency? A Theoretical Study,” *Energy Procedia*, 61, 294-298.
 21. Zhang, Z. (2003), “Why did the Energy Intensity Fall in China’s Industrial Sector in the 1990s? The Relative Importance of Structural Change and Intensity change,” *Energy Economics*, 25, 625-638.
 22. Zhou, P., B. W. Ang and K. L. Poh (2008), “A Survey of Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Studies,” *European Journal of Operational Research*, 189, 1-18.
 23. Zhao, X. L., R. Yang and Q. Ma (2014), “China’s Total Factor Energy Efficiency of Provincial Industrial Sectors,” *Energy*, 65, 52-61.