

跨國共同邊界生產技術效率比較—— 同步考量正向經濟發展與負向 CO₂ 排放

劉哲良

國立台灣大學農業經濟學系

吳珮瑛

國立台灣大學農業經濟學系

黃芳玫*

國立台灣大學農業經濟學系

關鍵詞：經濟發展、二氧化碳、方向性距離函數法、共同邊界分析法、群組
邊界效率、共同邊界效率、長期追蹤資料

JEL 分類代號： C23, C61, Q56

* 聯繫作者：黃芳玫，國立台灣大學農業經濟系，台北市羅斯福路四段一號。電話：
(02)33662650。電子郵件：fmhuang@ntu.edu.tw。本研究之完成部分來自於台灣
大學「98 年度提升人文與社會科學研究能量專案計畫」之經費補助，特此致謝。

摘 要

本文的主要研究目的是採用方向性距離函數，除考量經濟發展的正向意欲產出，並納入負向的 CO₂ 非意欲產出，估算所有樣本國的共同邊界效率、各國所分屬的子群組邊界效率，以及達到整體理想最佳生產技術的追趕概況。結果顯示，共同邊界效率值與共同技術比率的變動趨勢大致與各國發展程度一致。即發展程度高的國家，平均而言擁有較佳的生產技術水準，於是加強相關政策管理以提升生產效率水準，將是首要之務。而發展程度低的國家，一如發展程度高的國家，除了要朝向潛在最佳生產技術效率水準邁進之外，尚須戮力往最佳生產技術水準前進。



1. 前言

為減緩因過度排放溫室氣體（greenhouse gas, GHG）對全球環境所帶來的嚴重破壞，世界各國於 1992 年在巴西里約共同簽署「氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）」，針對溫室氣體之排放做相關的管制與規範。而後，又於 1997 年通過具法律約束力之「京都議定書」（Kyoto Protocol），要求簽署國在 2008 年至 2012 年之間（即第一減量時期），將各國的溫室氣體排放量，平均減少到比 1990 年排放量低 5.2% 之水準。

溫室氣體排放的來源，主要來自於推動經濟發展動力之石化燃料（fossil fuel）的能源轉換而來；然而，隨著經濟的不斷發展，預期將需要更多能源動力，倘若能源技術、結構與使用方式不變，此也意味著溫室氣體排放總量亦將隨之增加。進而，承諾減量無疑代表必須以減緩經濟成長做為代價。¹ 然而，雖然目前在第一減量時期承諾排放減量的國家只有 38 個京都議定書簽署國，² 但未來的整體趨勢走向可能將減量責任擴展至只要有排放溫室氣體的國家，預期都將負擔程度不一的減量責任（United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007）。也就是說，如何調適排放減量對經濟發展可能帶來的衝擊，是世界各國即將面對的重要課題（Tonn, 2003）。

在此背景之下，既然減量承諾意味著各國在生產過程中無法得以不耗費成本的任意排放溫室氣體，因而，為了達成減量目標之同時並維持經濟的持續發展，於是檢視生產過程之技術效率（technical efficiency in production, TE），並藉由效率之衡量找出得以改進之處，也成為各國日益關注的焦點。

在眾多 TE 衡量技巧中，距離函數（distance function）由於並不需要取得一般難以得到的投入產出價格資料，僅需以數量資料即可進行不同生產決

¹ 在減量承諾已逐漸成為世界各國的共識，以及減量必須對應的以降低石化能源使用之前提下，溫室氣體之排放必然需要付出原本用於生產的資源做為代價，此亦即生產理論中「弱可拋（weak disposability）」假設之內涵。

² 即附件 B（Annex B）國家。



策單位 (decision making unit, DMU) 之 TE 的衡量比較，因而受到廣泛的使用。至於產出導向 (output oriented) 的 TE 衡量，主要是以固定每個 DMU 的投入，比較各 DMU 所對應的產出量；而擁有最佳表現者，即定義為效率生產單位。同時，生產過程中所產生如二氧化碳 (carbon dioxide, CO₂) 之非意欲產出，在此種傳統衡量方法「強可拋 (strong disposability)」之假設下，是無須付出代價而可自由丟棄的，因而多未將之納入 TE 之衡量中；也因此，根據傳統距離函數所衡量得到的 TE 數值，並無法反應處理非意欲產出所付出的成本對 TE 之衝擊 (Chung et al., 1997; Färe et al., 2001; Dyckhoff and Allen, 2001; Seiford and Zhu, 2002; Färe et al., 2005; Yang and Pollitt, 2007; Zhou et al., 2008)。

為改進以距離函數衡量 TE 之缺失，文獻上提供了「投入—產出轉置法」、「正向屬性轉換法」，以及「方向性距離函數法 (directional distance function approach)」等三種方法，試圖捕捉非意欲產出對 TE 影響的衡量。其中「方向性距離函數法」因避開了「投入—產出轉置法」扭曲了實際投入產出的關係，可能得到不一致衡量結果之缺失 (Murty and Russell, 2002)；及正向屬性轉換法因扭曲了變數背後的技术轉換率，可能得到不適當衡量結果的技术問題 (Atkinson and Dorfman, 2002)。因而成為後續衡量納入非意欲產出衡量 TE 的主要方法 (Färe et al., 2001; Boyd et al., 2002; Lee et al., 2002; Färe et al., 2005; Arcelus and Arocena, 2005; Picazo-Tadeo et al., 2005; Färe et al., 2006; Kumar, 2006)。

而在另一方面，採用 TE 的比較分析，受衡量的 DMU 基本上必須具備相類似的技術水準，³ 否則並無法釐清所衡量出 TE 的不佳究竟來自 DMU 的管理缺失，抑或是根屬於技術水準相異的制度結構問題。特別是當焦點挪向以國家單位 (country level) 進行 TE 分析時，此一問題更顯重要；由於不同國家所具備的生產制度環境 (institutional environment) 明顯的不相同，⁴ 且所面對的生產邊界 (production frontier) 更是大異其趣。方向距離函數雖解決了同

³ 此亦即生產技術的同質性 (homogeneity)

⁴ 諸如勞動力的數量與品質、資本存量、自然資源秉賦、社會與政治結構與文化等，皆是構成一國制度環境之要素。



時考量意欲與非意欲產出之關係，然而，各 TE 績效表現之衡量，仍無法將不同 DMU 放置於相同的基準下評比，以致於無法得到合理的比較結果。

爲了克服上述問題，Battese and Rao (2002) 提出共同生產邊界函數 (meta-frontier production function) 之分析架構，利用隨機參數法 (stochastic frontier approach, SFA) 建構出共同邊界，在假設所有 DMU 有取得相同技術水準之潛力前提下，進行所有 DMU 於共同邊界上之生產效率的比較分析。而 O'Donnell et al. (2007) 則進一步建立了以資料包絡法 (data envelopment analysis, DEA) 做爲估計基礎之共同邊界架構，解決了 SFA 只能處理單一產出的問題。然而，目前此一方法並處理有關涵蓋經濟發展的正向產出與發展過程中所帶來的 CO₂ 排放的負向產出之多產出的議題。⁵

在共同邊界的分析架構下，我們不但得以做爲 DMU 於最佳潛在共同邊界技術效率表現的比較基準，亦能在樣本做合理及有意義的分群後，得到各自群組邊界 (group frontier) 之群組技術效率表現。除此之外，藉由比較共同邊界技術效率及群組技術效率值的差距，可以表示出群組技術與共同邊界技術差異的技術缺口率 (technology gap ratio, TGR) (Battese et al., 2004) 或是共同技術比率 (meta-technology ratio, MTR) (O'Donnell et al., 2007)。⁶ 進而，也可以估算到不同國家的 MTR (或) TGR 值，藉此以進行跨不同技術群組的技術水準比較。當此比率值越高時，表示該國家實際使用的生產技術越接近潛在的生產技術水準，也隱含技術水準較佳；反之，當比率值越低時，則表示該國所擁有技術水準較差。然而，當前的文獻並沒有同時考量意欲產出的經濟發展與非意欲產出的效率衡量指標之共同邊界分析架構。

然而，到目前爲止，採用方向性距離函數，同時結合正向經濟發展與負向 CO₂ 排放的跨國實證文獻雖有如 Färe et al. (2001)、Arcelus and Arocena

⁵ 只要是納入非意欲產出，則至少會有一個正向與一個負向的產出，此時無法利用 SFA 來進行共同邊界的分析。

⁶ O'Donnell et al. (2007) 曾提及，由於「技術缺口值 (TGR) 的增加」，事實上是群組技術越追趕至共同邊界的表現，所描述其實是缺口的減少，是帶有正面的意涵；因此若採用帶有負面意涵的「缺口」一詞，恐易造成混淆，因此改採 MTR 做爲 TGR 之同義異名詞。因而，本文後續乃使用 MTR 做爲共同邊界值與群組邊界比率之表示。



(2005)、Picazo-Tadeo et al. (2005)、Kumar (2006) 的研究，然這些研究是以各國的總要素生產力之衡量與比較為重點。因而，採用方向性距離函數估算生產技術效率，同時結合正向經濟發展與負向 CO₂ 排放的跨國實證研究，尙付之闕如。進而，為得知各決策單位跨國、跨期技術效率與最佳潛在技術效率的差距，各決策單位必須立處於相同的基準點，於是找出各決策單位最佳潛在技術的共同邊界更是必要的。

有鑑於前述的問題背景，本文的主要研究目的是採用方向性距離函數，在考量經濟發展的正向產出時，一併納入負向的 CO₂ 非意欲產出，以進行各國 TE 之比較分析，並利用共同邊界分析法，估算出所有樣本國的共同邊界以及各國所分屬的子群組邊界，以進一步藉此比較各國的共同邊界技術效率、群組技術效率值與 MTR，以供各國改善整體生產 TE 之依據。同時，更進一步剖析特定國家與所屬相同技術群組國家的平均技術變動率，及全部整體國家的技術變動率，且估算特定國家由所屬群組達到整體理想最佳生產技術的追趕概況。最後則找出各國在考慮非意欲產出後，影響生產效率之制度環境的顯著因子。

前述架構的驗證，將由氣候分析指標工具資料庫 (The Climate Analysis Indicator Tool, CAIT)、聯合國統計資料庫 (United Nations Statistics Division) 以及世界銀行 (The World Bank) 的世界發展指標 (World Development Indicators, WDI) 資料庫挑選出相關的跨國實證資料。而在樣本國家與資料年份的選擇上，主要是以資料樣本在氣候變遷議題上的代表性、資料結構的完整性與一致性為標準，採用包含所有京都議定書簽署國在內共 57 個國家，橫跨 1990-2005 年的 912 筆資料為分析對象。



2. 考量 CO₂ 非意欲產出之共同邊界之分析架構與方法

2.1 考慮非意欲產出之技術效率估計

假設 $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ 和 $b = (b_1, \dots, b_J) \in R_+^J$ 與 $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ 分別是 DMU 在進行生產活動時，以 GDP 表示之經濟發展的意欲產出與 CO₂ 之非意欲產出，以及投入要素向量，其中 x_n 代表第 $n=1 \dots N$ 種的投入， y_m 代表第 $m=1 \dots M$ 種的意欲產出， b_j 代表第 $j=1 \dots J$ 種的非意欲產出，而 R_+^M 、 R_+^J 與 R_+^N 分別代表在 M 、 J 與 N 維空間中之非負實數所形成的集合。在此定義下，利用 Chung et al. (1997) 在同時考量 CO₂ 之非意欲產出之方向性產出距離函數，如(1)式所示：

$$\bar{D}_0(x, y, b; g) = \max_{\beta} \{ \beta : (y + \beta \cdot g_y, b - \beta \cdot g_b) \in P(x) \} \quad (1)$$

其中 $P(x)$ 為在 x 投入下，可生產出 (y, b) 的生產可能集合 (output set)。

圖 1 中 $g = (g_y, -g_b)$ 為方向性向量，表示經濟發展之意欲產出與 CO₂ 非意欲產出的一正一負互動關係，此乃表示生產過程中追求經濟發展意欲產出的極大化與 CO₂ 非意欲產出的極小化。方向性距離函數值 β ，其內涵為某特定 DMU 依 $g = (g_y, -g_b)$ 方向向量移動之意欲與非意欲產出，使之能夠成為效率生產單位的比率，其值 ≥ 0 。比如，若一個 DMU 單位 A 經由與生產邊界的比較而得到的 β_i 值為 0.4，則表示該 DMU 的生產組合必須改變為 $(y_i + 0.4 \cdot g_y, b_i - 0.4 \cdot g_b)$ ，方能成為有效率之生產單位。也因此，當 β_i 值越大時，表示該 DMU 距效率生產邊界較遠；反之，當 β_i 值越接 0 時，則表示該 DMU 越接近效率生產邊界。

而在實際之計算上，當有 k 個 DMU 時，則方向性距離函數值可利用線性規劃架構求解(2)式而得到。



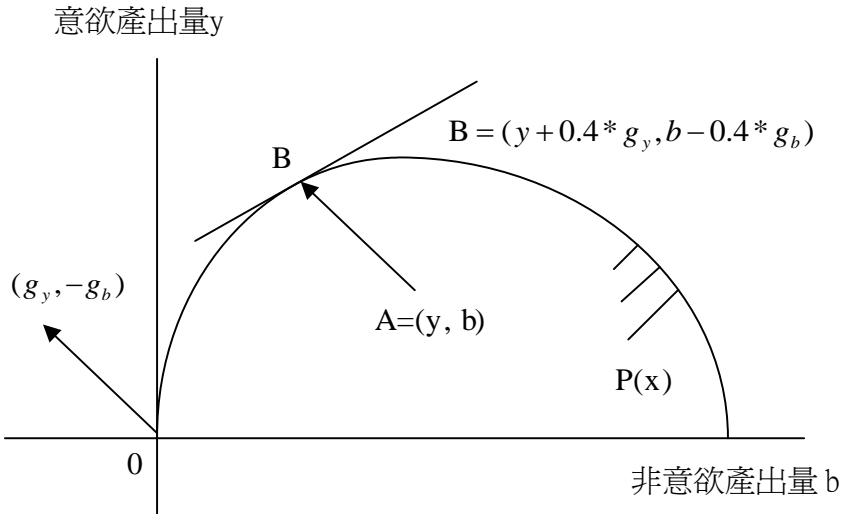


圖 1 方向性產出距離函數

$$\begin{aligned} \bar{D}_0(x^k, y^k, b^k; g) &= \max_{z, \beta} \beta^k \\ \text{s.t. } \sum_{k=1}^K z^k y^k &\geq (1 + \beta^k) y_m^k, \quad m = 1, \dots, M. \\ \sum_{k=1}^K z^k b_j^k &\geq (1 - \beta) b_j^k, \quad j = 1, \dots, J. \\ \sum_{k=1}^K z^k x_n^k &\leq x_n^k, \quad n = 1, \dots, N. \\ z^k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 共同邊界技術效率、群組邊界技術效率與共同技術比率

共同邊界與群組邊界的差異，主要在於所涵蓋的技術組合不同。如果涵蓋所有樣本的投入，即產出共同邊界技術組合 (meta-technology set) 為 T 、對應的產出集合為 $P^{meta}(x)$ 時，方向性距離函數可表示為(3)式

$$\vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g) = \max_{\beta} \left\{ \beta : (y + \beta \cdot g_y, b - \beta \cdot g_b) \in P^{meta}(x) \right\} \quad (3)$$

如果將所有樣本劃分成 k 個子群體，其對應投入的產出技術組合為 T^k 、子群組產出集合為 $P^k(x)$ 時，則方向性距離函數表為(4)式

$$\vec{D}_0^k(x, y, b; g) = \max_{\beta} \left\{ \beta : (y + \beta \cdot g_y, b - \beta \cdot g_b) \in P^k(x) \right\}, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (4)$$

由(3)式及(4)式即得到 $\vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g)$ 與 $\vec{D}_0^k(x, y, b; g)$ ，即是分別以共同邊界與各群組邊界做為比較基準時所得到的方向性距離函數值。⁷ 在 $\vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g)$ 中表現最佳的生產單位所形成的包絡曲線即定義為共同生產邊界；反之，由 $\vec{D}_0^k(x, y, b; g)$ 中表現最佳的生產單位所形成的包絡曲線即定義為群組生產邊界。

延續上述的各項設定，共同邊界做為比較基準的技術效率，即共同邊界技術效率 (TE^{meta} 表示) 如(5)式

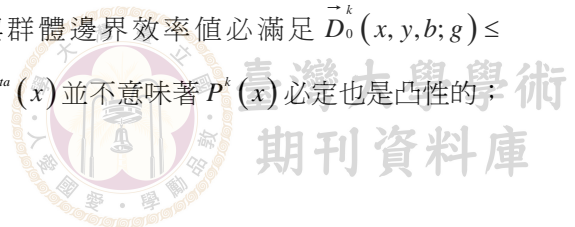
$$TE^{meta} = 1 - \vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g) \quad (5)$$

同理，當比較基準為各群組邊界時，其技術效率、即群組 k 技術效率 (以 TE^{group-k} 表示) 如(6)式

$$TE^{group-k} = 1 - \vec{D}_0^k(x, y, b; g) \quad (6)$$

經由(5)及(6)二式所衡量而得的技術效率值界於 0 到 1 之間。當該值越接

⁷ 在二者背後所隱含的關係包含下列屬性：a. 若對於任何群體 k 而言 $(x, y, b) \in T^k$ ，則 $(x, y, b) \in T$ ；b. 若 $(x, y, b) \in T$ ，則必定有某一群體 k 滿足 $(x, y, b) \in T^k$ ；c. 共同邊界技術組合必為群體技術組合的包絡聯集合，亦即： $T = \{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^k\}$ ；共同邊界與群體邊界效率值必滿足 $\vec{D}_0^k(x, y, b; g) \leq \vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g)$ ；凸性 (convex) 的 $P^{meta}(x)$ 並不意味著 $P^k(x)$ 必定也是凸性的；反之，亦然。



近 1 時，表示生產效率越佳；反之，則越差。其次，同一個生產單位的群組效率 $TE^{group-k}$ 值必定大於等於共同邊界 TE^{meta} 值。⁸ 換言之，這二個技術效率值可能不同，而二者間的差異，即為共同技術比率，如(7)式所示

$$MTR = \frac{TE^{meta}}{TE^{group-k}} = \frac{\left(1 - \vec{D}_0^{meta}(x, y, b; g)\right)}{\left(1 - \vec{D}_0^k(x, y, b; g)\right)} \quad (7)$$

比如，一個 DMU 的 $TE^{meta} = 0.5$ 、 $TE^{group-k} = 0.8$ 時，其 MTR 值為 $0.5/0.8 = 0.625$ 。這表示同一個生產單位在群組 k 的生產技術下，以同樣的要素投入組合 x ，只能達到共同邊界生產技術的 62.5%。當 MTR 值越大時，即顯示特定群組 k 的生產技術差距越大；反之，則差距越小。

我們進一步將 TE^{meta} 、 $TE^{group-k}$ 與 MTR 的三者關係重新整理如(8)式

$$TE^{meta} = TE^{group-k} \times MTR \quad (8)$$

共同邊界分析架構可利用圖 2 來加以說明。今假設有眾多生產單位，並可依其技術水準之異同區分為三個群組 A、B、C。三個群組中具備最佳生產效率之 DMU 分別構成群組邊界 A、群組邊界 B 與群組邊界 C。倘若我們進一步假設集合 A、B 與 C 三個群組所有的 DMU 皆以潛在最佳的生產水準來進行生產，此時具備最佳生產效率之 DMU 即構成一個共同邊界 M。今有一個屬於群組 B 的 DMU 之生產組合為 a ，則此時將 a 的高度除以落於群組邊界 B 上最佳生產組合 a^1 之高度，將得到在固定投入組合 X 下所能得到的產出組合比率，亦即該 DMU 之群組生產效率 $TE^{group-B}$ 。若假設該 DMU 以潛在最佳的生產技術水準來進行生產，則 a^2 的高度除以 a 的高度比率，即為該 DMU 之共同邊界生產效率 TE^{meta} 。在此情況下，共同技術比率 MTR 即為 a^2 與 a^1 之高度差距。

⁸ 這如同一個學生的期中考成績排名可能在班上名列前茅，但當進行全校排名時，因為比較的人數變得更多了，因此該學生的全校排名至多只會與比較人數較少時的班級排名一樣好，不可能超過原本在班級上的排名。

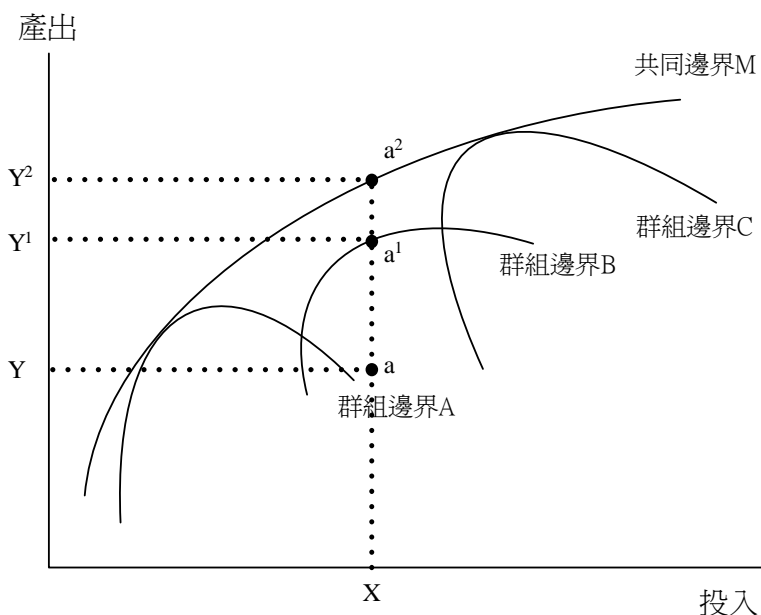
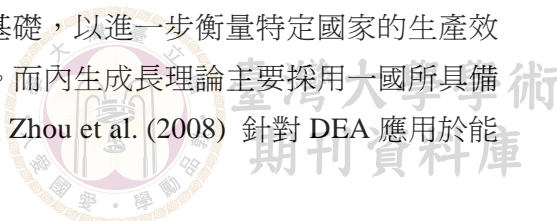


圖 2 共同邊界分析架構

(8)式指出考量所有群組國家所構成的潛在技術水準之共同邊界技術效率值，可進一步拆解成二部分，分別是：抽離特定群組制度環境對生產效率影響後的群組技術效率，與由特定群組制度環境所造成之群組技術與共同邊界技術差異。就實際政策意涵而言，我們可由(8)式各因子的估算結果得知，政策改進方向應著重的焦點。若生產效率不彰之成因主要是受到 TE^k 值的影響，表示 DMU 應在管理策略的制定與執行上多加改進；反之，若效率不彰的主要原因在於 MTR 所帶來的影響，則提升該 DMU 所持有的技術水準應是首要之務。

3. 實證資料來源與變數處理

針對國家層次的分析，效率衡量指標之建構多根據內生經濟成長理論 (endogenous growth model) 為立論基礎，以進一步衡量特定國家的生產效率或是總要素生產力 (Kumar, 2006)。而內生成長理論主要採用一國所具備的資本與勞動做為投入項，進而，根據 Zhou et al. (2008) 針對 DEA 應用於能



源與環境議題所做的回顧得知，能源消費量亦成爲一般最常使用的投入要素。至於方向性距離函數在跨國層次的能源相關議題的分析上，則是採用實質 GDP 與溫室氣體排放量分別做爲意欲與非意欲產出 Färe et al. (2001)、Boyd et al. (2002)、Lee et al. (2002)、Färe et al. (2005)、Arcelus and Arocena (2005)、Picazo-Tadeo et al. (2005)、Färe et al. (2006)、Kumar (2006)。

因而，在效率指標的建構上，投入項資料主要乃選取包含了「勞動投入量 (labor)」、「實質資本形成 (real capital formation)」與「能源使用量 (energy use)」，意欲產出項爲「實質國內生產毛額 (real gross domestic product)」，而非意欲產出項則爲「CO₂之排放量」。

這些資料主要有三個來源。第一，在跨國「CO₂排放量」方面，目前現有的相關資料庫裡，資料涵蓋完整度較佳的，是來自於世界資源研究院 (World Resource Institute, 2008) 的氣候分析指標工具。這個指標系統涵蓋了世界各國由 1950 以來的溫室氣體累積排放量、單年排放總量 (yearly emission)、能源使用密度 (energy density)，以及一些社會經濟指標 (socio-economic)，如健康概況、教育程度、人口總數等資料，目前最新資料更新至 2005 年，且涵蓋台灣在內共多達 186 個國家。第二，各國的「實質資本形成」、「勞動投入量」、「能源使用量」則是來自於世界銀行的世界發展指標資料庫 (The World Bank, 2008)。此一資料庫，共包含了世界 209 個國家 1960 年到 2007 年的國家相關指標資料，由於具備較佳的涵蓋度與完整性，因此適用於本文需要的跨國效率指標計算之用。最後，各國的「實質國內生產毛額」則是 1990 物價指數平減的產值資料，主要來自於聯合國統計資料庫 (United Nations Statistics Division, 2008)。

然而，上述的各個變數，除了 CAIT 資料庫有包含臺灣的 CO₂ 排放量資料外，其他的各個變數無法在聯合國資料庫與 WDI 資料庫中找到，必須另外蒐集。其中「勞動投入量」、「實質資本形成」與「實質國內生產毛額」等原始資料則由中華民國統計資訊網上取得 (行政院主計處，2009)，其中勞動投入量是以當年的勞動力乘上就業率而得。而「能源使用量」的變數資料，則是由經濟部能源局 (2009) 的網站上取得。



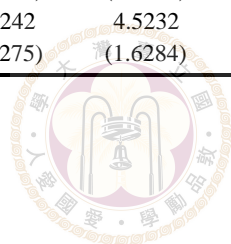
進而，爲了讓分析有其代表性與實際意義，分析對象包含現今對氣候變遷有顯著影響力的國家，亦即是總排放量到達一定程度的國家。因此，除了選擇京都議定書減量承諾國做爲分析之樣本國家外，亦涵蓋全世界各國 1950 年到 2005 年的 CO₂ 累積排放總量前 50 名之國家樣本。在這二個選取標準的聯集下，本文最後所選用的資料共包含 57 個國家，而這 57 個國家由 1950 年至 2005 年的累積排放量共佔世界總累積排放量的 93.73%，具備良好的代表性。但由於不同國家各個變數的年份完整度並不相同，因此在初步選定分析國家後，再以缺漏最少、完整性最佳者做爲各國資料時間涵蓋度的考量，最後依此挑選出來的資料，則是這 57 個國家自 1990 年至 2005 年，共 16 年的 912 筆資料，本文將以此做爲後續分析之用。因而，本文所需要的資料型態基本上爲跨國的時間序列資料。

表 1 各群組國家 1990 年-2005 年變數平均值與標準差

變數名稱 (單位)	變數符號	高所得國家	中高所得國家	中低所得國家	低所得國家
投入產出變數					
GDP (百萬美元)	——	956,391 (1,647,595)	155,522 (132,579)	105,462 (148,067)	297,187 (364,142)
CO ₂ (千公噸)	——	505,305 (1,185,952)	145,572 (134,260)	230,243 (334,476)	850,717 (1,306,884)
能源使用量 (千公噸油當量)	——	212,309 (465,442)	53,499 (53,867)	87,991 (139,278)	306,308 (426,040)
資本形成 (百萬美元)	——	199,321 (331,147)	38,903 (43,144)	24,336 (30,614)	96,900 (144,387)
勞動投入 (萬人)	——	1,938 (3,266)	825 (715)	1,782 (2,129)	20,928 (28,397)
制度環境結構變數					
每人每年 GDP (美元/每人)	GDP	26,048 (7,145)	8,431 (2,453)	2,546 (913)	720 (209)
人口密度 (每萬人/平方公里)	POPDEN	1.3006 (1.2981)	1.8355 (2.1003)	0.6069 (0.3968)	1.4429 (0.9336)
產業結構 (份額)	INDUS	0.2883 (0.045)	0.3365 (0.0870)	0.3675 (0.0775)	0.3351 (0.0879)
貿易開放度 (份額)	OPENNESS	0.7793 (0.4907)	0.7290 (0.3072)	0.8713 (0.4477)	0.457 (0.1538)
單位勞動資本 (千美元/每人)	CALABOR	11.1242 (3.6275)	4.5232 (1.6284)	1.4264 (0.7284)	0.4394 (0.1598)

資料來源：本研究匯總。

說明：括號內爲標準差。



最後，由於經濟發展程度與該國所具備的技術水準有高度相關，因此本文參照 Iyer et al. (2005) 的做法，採用每人每年所得做為分群變數，並依照世界銀行的分類將國家分為四個所得群組，分別為每人年所得為 935 美元以下者的低所得國家 (low-income countries, LCs)、每人年所得介於 936 到 3,705 美元者的中低所得國家 (low middle-income countries, LMCs)、每人年所得介於 3,706 到 11,455 美元者的中高所得國家 (upper middle-income countries, UMCs) 以及每人年所得高於 11,456 美元的高所得國家 (high-income countries, HCs)。以作為群組與整體比較對照的基礎。表 1 為各群組樣本相關變數 1990-2005 之平均值及標準差。

最後，為瞭解不同制度環境結構因子 (institution environment) 對各國考慮非意欲 CO₂ 產出後所計算之生產效率的影響，亦建構了相關實證式估算其影響效果。在變數之選擇上，除了採用單位 GDP 的能源使用量所衡量之能源使用密度 (ENGDPI)，與每單位勞動力所享有的資本量之勞動資本結構 (CALABOR) 等，用以表示一國投入生產要素結構之解釋變數 (Kumar, 2006)，另影響 CO₂ 排放量的制度環境結構影響因子，如每人 GDP 做為實際衡量指標的所得效果指標、一國的經濟規模 (ECOSCALE)、產業結構 (INDUS)、貿易開放程度 (OPENNESS) 與人口密度 (POPDEN) 等均包括在內 (Grossman and Kruger, 1995; Panayotou, 1997; Borghesi, 1999; Schmalensee et al., 1998; Unruh and Moomaw, 1998; Ravallion et al., 2000; Chen, 2001; Heerink et al., 2001; Heil and Selden, 2001; Lindmark, 2002; Friedl and Getzner, 2003; Dinda, 2004)。⁹

其中 ECOSCALE 是以各國每年 GDP 除以該國之面積做為表示 (Panayotou, 1997)；INDUS 則是以一國工業生產之附加價值佔 GDP 份額加以衡量；而 OPENNESS 則是依循 Zaim and Taskin (2000)、Kumar (2006)

⁹ 這些文獻將所有相關變數所代表的影響效果分為三類，分別是「所得效果」(income effect)、「組合效果」(composition effect) 與「技術效果」(technology effect)。其中所得效果意指所得水準的變化，將帶來民眾對能源消費型態以及環保意識之改變，進而對 CO₂ 之排放產出影響。組合效果則是用來表示產業結構變化對 CO₂ 排放產出之影響。而技術效果則意指環保相關技術之進步與輸入對 CO₂ 排放之影響。



的做法，以一國進出口之總值佔 GDP 之份額為衡量。¹⁰ 相關指標的原始資料皆可由 WDI 資料庫中取得。表 1 為各群組各相關變數平均數之整理。

4. 實證結果分析

4.1 各群組國家歷年投入產出變動率

根據表 2 的結果，意欲產出 GDP 於 1990-2005 年間之平均增長率排序為 LCs > UMCs > HCs > LMCs，對應的增長率則分別為 5.27%、3.09%、2.66% 與 2.14%。這些結果並未與內生成長理論所提出的收斂推論一致，即產出之增長率並沒有隨所得增加而呈現成長率逐漸收斂之結果 (Kumar, 2006)。另一方面，非意欲產出 CO₂ 增長率之排序與意欲產出 GDP 相同，對應的增長率則為 4.02%、2.74%、1.50%、0.27%，而這些增長率之變化趨勢類同於對應國家群組能源使用之增長率。由上述初步檢視的關聯性，更可確定能源使用在正向 GDP 產出與負向 CO₂ 之間所扮演的重要角色。

進一步檢視投入的變動資訊，雖然 LCs 與 UMCs 之 GDP 成長率較 HCs 與 LMCs 為高，然而 LCs 與 UMCs 這二個國家群組無論在能源、資本與勞動之使用上，分別成長了 3.46%、6.20%、2.19% 與 3.21%、5.18%、1.33%，其成長率亦高於 HCs 對應投入之增長率 1.59%、2.47%、0.95% 與 LMCs 的

¹⁰ 審查人之一問到究竟 R&D 是否也該是所選擇的制度環境因子之一呢？就影響的路徑關連性來說，若 R&D 的投入確實帶來了生產技術之進步，令 DMU 在生產過程中能夠降低污染排放量，則此時 R&D 的投入確實應該會對效率的變動產生影響。然而，當討論範圍為橫跨國家時，一般來說皆難以取得，因此幾乎沒有跨國研究將此一變數納入考量。而本研究使用的 WDI 跨國資料庫中，亦無 R&D 或任何相關的變數可供使用，因此亦難以將之納入。雖是如此，R&D 所欲捕捉技術進步對效率或總要素生產力之影響效果，在進行跨國實證分析時，通常會採用每人每年國內生產毛額 (GDP) 與貿易開放度 (OPENNESS) 來估計變數背後可能帶來的技術進步效果 (Panayotou, 1997; Zaim and Taskin, 2000; Dinda, 2004)。而在本研究裡亦包含了這些變數，因此亦可以由此二變數所得到的估計係數，進一步判斷因技術進步可能帶來的效率變動影響。

0.26%、3.64%、0.73%。由這些數據可以推論，LCs 與 UMCs 之生產力成長主要來自於要素投入之累積；然而資源投入之成長有其限度，相較立基於技術進步的成長型態，此種奠基於資本投入累積的產出成長型態，最後也終將受限於可投入的資源數量，而令產出成長有其極限。

然而上述推論結果的主要關鍵，乃在於將產出成長全然歸因於投入增加下的結果，如此可能忽略生產技術逐步邁向潛在共同邊界最佳技術之追趕與生產效率變動在產出成長裡所扮演的角色。除此之外，在未來各國面對承諾減量之前提下，對於 CO₂ 之排放也必須加以控管，這也意指各國將為 CO₂ 之減量付出程度不一的成本，因而產出之成長相對於過去未考慮 CO₂ 排放減量時是有不同的。而採方向性距離函數並配合共同邊界法的分析架構，正得以捕捉傳統產出衡量方法無法解決的問題。

表 2 各所得群組國家 1990 年-2005 年投入產出平均變動率

國家分類與名稱	產出	CO ₂	能源	資本	勞動
高所得國家 (HCs)					
愛爾蘭 (Ireland)*	0.0655	0.0280	0.0268	0.0896	0.0292
盧森堡 (Luxembourg)*	0.0462	0.0150	0.0208	0.0351	0.0142
澳大利亞 (Australia)*	0.0351	0.0228	0.0227	0.0336	0.0137
挪威 (Norway)*	0.0321	0.0353	0.0282	0.0318	0.0089
紐西蘭 (New Zealand)*	0.0321	0.0318	0.0142	0.0506	0.0176
冰島 (Iceland)*	0.0315	0.0103	0.0355	0.0684	0.0148
美國 (United States)	0.0298	0.0139	0.0131	0.0374	0.0124
西班牙 (Spain)*	0.0296	0.0382	0.0319	0.0399	0.0176
加拿大 (Canada)*	0.0281	0.0221	0.0177	0.0322	0.0122
荷蘭 (Netherlands)*	0.0252	0.0213	0.0139	0.0130	0.0143
英國 (United Kingdom)*	0.0245	-0.0034	0.0067	0.0153	0.0024
瑞典 (Sweden)*	0.0221	0.0061	0.0068	0.0054	-0.0008
芬蘭 (Finland)*	0.0221	0.0100	0.0132	0.0080	0.0020
奧地利 (Austria)*	0.0219	0.0230	0.0217	0.0131	0.0083
丹麥 (Denmark)*	0.0219	0.0056	0.0075	0.0275	-0.0017
比利時 (Belgium)*	0.0197	0.0107	0.0099	0.0185	0.0088
法國 (France)*	0.0187	0.0077	0.0132	0.0135	0.0060

表 2 (續)

德國 (Germany)*	0.0160	-0.0106	-0.0020	-0.0029	0.0044
義大利 (Italy)*	0.0129	0.0094	0.0153	0.0087	0.0021
日本 (Japan)*	0.0128	0.0106	0.0120	-0.0096	0.0029
瑞士 (Switzerland)*	0.0114	0.0080	0.0057	-0.0099	0.0091
HCs 平均	0.0266	0.0150	0.0159	0.0247	0.0095

中高所得國家 (UMCs)

南韓 (South Korea)	0.0565	0.0481	0.0581	0.0502	0.0163
阿根廷 (Argentina)	0.0367	0.0204	0.0224	0.0821	0.0233
台灣 (Taiwan)	0.0365	0.0616	0.0469	0.0352	0.0140
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	0.0311	0.0308	0.0578	0.0530	0.0325
希臘 (Greece)*	0.0303	0.0246	0.0226	0.0415	0.0138
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	0.0251	0.0008	0.0188	0.0595	0.0043
葡萄牙 (Portugal)*	0.0222	0.0337	0.0293	0.0126	0.0103
克羅埃西亞 (Croatia)*	0.0087	-0.0005	0.0009	0.0801	-0.0078
UMCs 平均	0.0309	0.0274	0.0321	0.0518	0.0133

中低所得 (LMCs)

馬來西亞 (Malaysia)	0.0641	0.0741	0.0693	0.0489	0.0313
泰國 (Thailand)	0.0479	0.0648	0.0573	0.0446	0.0092
伊朗 (Iran)	0.0443	0.0515	0.0596	0.0558	0.0394
波蘭 (Poland)*	0.0360	-0.0088	-0.0043	0.0270	-0.0051
墨西哥 (Mexico)	0.0296	0.0003	0.0239	0.0300	0.0237
哥倫比亞 (Colombia)	0.0292	0.0119	0.0104	0.0522	0.0312
阿爾及利亞 (Algeria)	0.0279	0.0772	0.0259	0.0372	0.0421
巴西 (Brazil)	0.0264	0.0358	0.0304	0.0145	0.0260
南非 (South Africa)	0.0252	0.0039	0.0237	0.0303	0.0217
委內瑞拉 (Venezuela)	0.0248	0.0252	0.0241	0.1431	0.0389
愛沙尼亞 (Estonia)*	0.0246	-0.0243	-0.0356	0.0413	-0.0168
斯洛伐克 (Slovakia)*	0.0221	-0.0144	-0.0076	0.0270	0.0010
匈牙利 (Hungary)*	0.0204	0.0004	-0.0013	0.0297	-0.0049
白俄羅斯 (Belarus)	0.0192	-0.0257	-0.0282	0.0369	-0.0068
捷克 (Czech Republic)*	0.0150	-0.0186	-0.0045	0.0206	-0.0030
哈薩克 (Kazakhstan)	0.0123	-0.0268	-0.0180	0.0400	0.0022

表 2 (續)

羅馬尼亞 (Romania)*	0.0091	-0.0298	-0.0298	-0.0019	-0.0042
立陶宛 (Lithuania)*	0.0088	-0.0260	-0.0323	0.0111	-0.0101
保加利亞 (Bulgaria)*	0.0079	-0.0229	-0.0206	0.0693	-0.0234
拉脫維亞 (Latvia)*	0.0052	-0.0317	-0.0303	0.0848	-0.0184
俄羅斯 (Russian Federation)*	-0.0036	-0.0146	-0.0192	-0.0147	-0.0034
烏克蘭 (Ukraine)*	-0.0255	-0.0416	-0.0351	-0.0274	-0.0095
LMCs 平均	0.0214	0.0027	0.0026	0.0364	0.0073
低所得國家 (LCs)					
中國 (China)	0.1015	0.0595	0.0481	0.1176	0.0117
印度 (India)	0.0599	0.0405	0.0353	0.0921	0.0188
埃及 (Egypt)	0.0470	0.0552	0.0454	0.0206	0.0213
印尼 (Indonesia)	0.0453	0.0416	0.0383	0.0756	0.0239
巴基斯坦 (Pakistan)	0.0441	0.0447	0.0385	0.0468	0.0336
烏茲別克 (Uzbekistan)	0.0184	-0.0006	0.0021	0.0195	0.0220
LCs 平均	0.0527	0.0402	0.0346	0.0620	0.0219

資料來源：本研究估算。

說明：按產出成長率排序。

4.2 各群組國家群組效率、共同效率及共同技術比率之分析

4.2.1 相異群組間之效率值與共同技術比率之比較

首先由群組分析的角度進行 TE^{meta} 與 MTR 於 1990-2005 年間平均值之比較。根據表 3 的結果可知，HCs、UMCs、LMCs 與 LCs 的 TE^{meta} 平均值分別為 0.9295、0.8613、0.8217 與 0.8016。在效率值之解讀上，以 HCs 為例，其 TE^{meta} 平均值為 0.9295，表示若採用潛在最佳的生產技術，則仍將有 $(1-0.9295) \times 100\% = 7.05\%$ 的效率改善空間。同理，UMCs、LMCs 與 LCs 若採用最佳的生產技術，則效率提升空間分別為 13.87%、17.83% 與 19.84%。

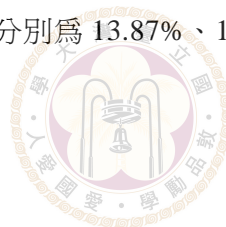


表 3 各群組國家 1990 年-2005 年群組效率、共同效率、共同技術比率

國家分類與名稱							
高所得國家 (HCs)	Geff	Meff	MTR	中低所得 (LMCs)	Geff	Meff	MTR
盧森堡 (Luxembourg)*	0.9881	0.9856	0.9975	愛沙尼亞 (Estonia)*	0.9781	0.8800	0.9000
瑞士 (Switzerland)*	0.9775	0.9769	0.9994	匈牙利 (Hungary)*	0.9381	0.7494	0.7995
挪威 (Norway)*	0.9431	0.9425	0.9993	捷克 (Czech Republic)*	0.9481	0.8150	0.8593
瑞典 (Sweden)*	0.9663	0.9663	1.0000	馬來西亞 (Malaysia)	0.9406	0.7456	0.7922
丹麥 (Denmark)*	0.9900	0.9869	0.9968	墨西哥 (Mexico)	0.9869	0.8363	0.8475
芬蘭 (Finland)*	0.9456	0.9444	0.9987	巴西 (Brazil)	0.9950	0.8763	0.8807
冰島 (Iceland)*	0.8894	0.8894	1.0000	南非 (South Africa)	0.9950	0.9600	0.8971
日本 (Japan)*	0.8994	0.8938	0.9938	斯洛伐克 (Slovakia)*	0.8550	0.7081	0.9579
美國 (United States)	0.9869	0.9731	0.9860	俄羅斯 (Russian Federation)*	0.9494	0.8250	0.8700
奧地利 (Austria)*	0.9094	0.9088	0.9993	拉脫維亞 (Latvia)*	0.8113	0.7106	0.8745
德國 (Germany)*	0.9244	0.9188	0.9938	委內瑞拉 (Venezuela)	0.9006	0.8638	0.9584
法國 (France)*	0.9288	0.9281	0.9993	阿爾及利亞 (Algeria)	0.9756	0.8825	0.9035
加拿大 (Canada)*	0.9344	0.9294	0.9947	保加利亞 (Bulgaria)*	0.8838	0.8475	0.9582
荷蘭 (Netherlands)*	0.8856	0.8856	1.0000	立陶宛 (Lithuania)*	0.7756	0.7044	0.9099
比利時 (Belgium)*	0.9150	0.9144	0.9993	泰國 (Thailand)	0.8150	0.7263	0.8893
澳大利亞 (Australia)*	0.9750	0.9144	0.9381	波蘭 (Poland)*	0.9375	0.9319	0.9939
義大利 (Italy)*	0.9675	0.9625	0.9949	伊朗 (Iran)	0.8494	0.7419	0.8731
愛爾蘭 (Ireland)*	0.9781	0.9581	0.9796	白俄羅斯 (Belarus)	0.7894	0.7806	0.9889
英國 (United Kingdom)*	0.9613	0.9544	0.9798	羅馬尼亞 (Romania)*	0.8125	0.8106	0.9976
西班牙 (Spain)*	0.8631	0.8556	0.9913	哈薩克 (Kazakhstan)	0.9863	0.9844	0.9979
紐西蘭 (New Zealand)*	0.8338	0.8294	0.9950	哥倫比亞 (Colombia)	0.9150	0.8350	0.9126
HCs 平均	0.9362	0.9295	0.9924	烏克蘭 (Ukraine)*	0.8800	0.8613	0.9929
				LMCs 平均	0.9053	0.8217	0.9118
中高所得國家 (UMCs)	Geff	Meff	MTR	低所得國家 (LCs)	Geff	Meff	MTR
台灣 (Taiwan)	0.9906	0.9769	0.9860	印度 (India)	0.9256	0.7494	0.8123
希臘 (Greece)*	0.9506	0.8906	0.9373	埃及 (Egypt)	0.9875	0.8525	0.8627
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	0.9663	0.9263	0.8290	中國 (China)	0.9925	0.8019	0.8076
南韓 (South Korea)	0.8331	0.7363	0.8911	烏茲別克 (Uzbekistan)	0.9806	0.9006	0.9184
葡萄牙 (Portugal)*	0.8844	0.8044	0.9095	巴基斯坦 (Pakistan)	0.9769	0.7556	0.7735
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	0.9031	0.8100	0.9648	印尼 (Indonesia)	0.9706	0.7494	0.7717
阿根廷 (Argentina)	0.9406	0.9031	0.9596	LCs 平均	0.9723	0.8016	0.8244
克羅埃西亞 (Croatia)*	0.8544	0.8431	0.9857				
UMCs 平均	0.9154	0.8613	0.9329				

資料來源：本研究估算。

說明：1. 各國家主要依照平均每人每年 GDP 來加以排序。

2. 上標有“*”符號的國家為京都議定書簽署國。

3. Geff 為群組效率 $TE^{group-k}$ 之平均值、Meff 為共同邊界效率 TE^{meta} 之平均值、MTR 為共同技術比率之平均值。



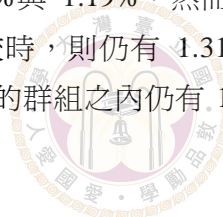
其次，檢視共同技術比率 MTR 之數值高低，則可以了解特定群組制度環境所造成之群組技術水準與共同邊界技術水準之差異，當 MTR 值越高，則表示受到制度環境條件支持下的技術水準也越高。同樣根據表 3 結果，HCs、UMCs、LMCs 與 LCs 的 MTR 平均值分別是 0.9924、0.9329、0.9118 與 0.8244。依循此內涵解讀，對於 HCs 而言，其所採用的平均技術水準能夠達到最佳共同邊界技術水準的 $0.9924 \times 100\% = 99.24\%$ ；同理，UMCs 與 LMCs 的平均技術水準亦有相當不錯的表現，可達到最佳共同邊界技術水準的 93.29% 與 91.18%。反觀，發展程度較低的 LCs，其 MTR 平均值則約只有 82.44%，表示其平均技術水準只能達到最佳水準的 82.44%。

最後，無論在 TE^{meta} 或 MTR 平均值的表現上，其高低大小的排序皆與國家發展程度一致，亦即皆為 $HCs > UMCs > LMCs > LCs$ 。這也表示不同國家群組之間的確存在生產技術之差異，且發展程度較高的國家群組，也普遍享有較佳的生產技術水準。上述的結果亦可藉由實際計算後的資料描繪而得每人每年所得與共同效率平均值或共同技術比率平均值之關係如圖 3 與圖 4 所示。

4.2.2 特定群組內效率表現之檢視

進而，表 4 之結果乃計算並檢視各群組國家在考慮付出減量代價後效率之表現。其中的 $Geff-r$ 為特定國家之 $TE^{group-k}$ 平均變動率、 $Meff-r$ 為特定國家於跨國共同邊界上之 TE^{meta} 平均變動率、 $MTR-r$ 為 MTR 之平均變動率，用以衡量特定國家這 16 年朝向最佳生產技術的追趕概況。

在 HCs 國家裡，平均 $TE^{group-k}$ 表現最佳的前二個國家分別是丹麥與盧森堡，其對應的效率值表現分別為 0.99 與 0.9881，而其平均 TE^{meta} 則為 0.9869 與 0.9856；表現最差的二個國家則是西班牙與紐西蘭，其 $TE^{group-k}$ 平均值分別為 0.8631、0.8338，而平均 TE^{meta} 為 0.8556 與 0.8294。這些數值表示，將 CO₂ 減量納入考量、並與該群組內具最佳生產效率者做比較後，丹麥與盧森堡在生產上仍可改進的空間分別為 1% 與 1.19%，然而若是與所有最佳潛在技術的共同邊界上的最佳效率做比較時，則仍有 4.31% 與 1.44% 的改善空間。同理，西班牙與紐西蘭在所歸屬的群組之內仍有 13.69% 與 16.62% 的改



善餘地，但倘若比較的基準為所有最佳潛在技術的共同邊界時，則改善的空間則擴大為 14.44%與 17.06%。

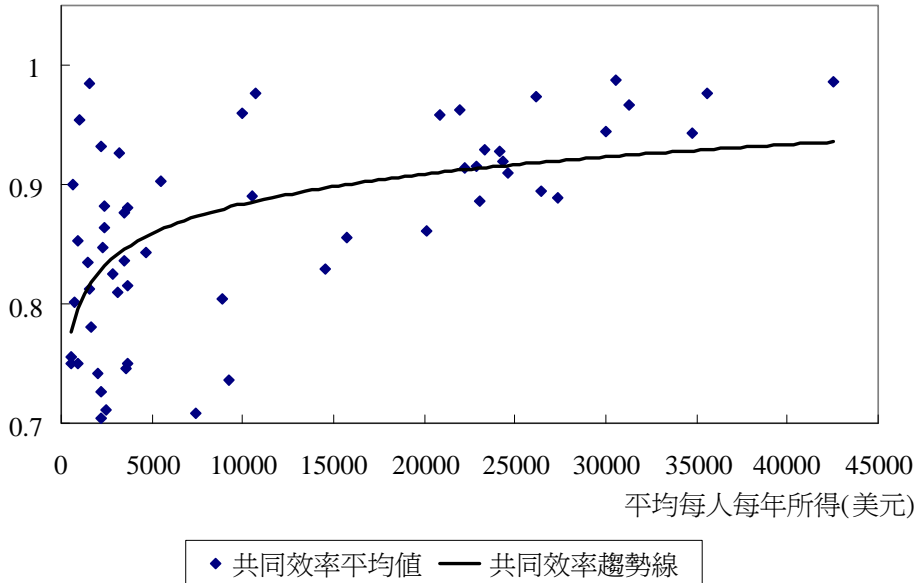


圖 3 共同效率平均值與每人每年所得之關係

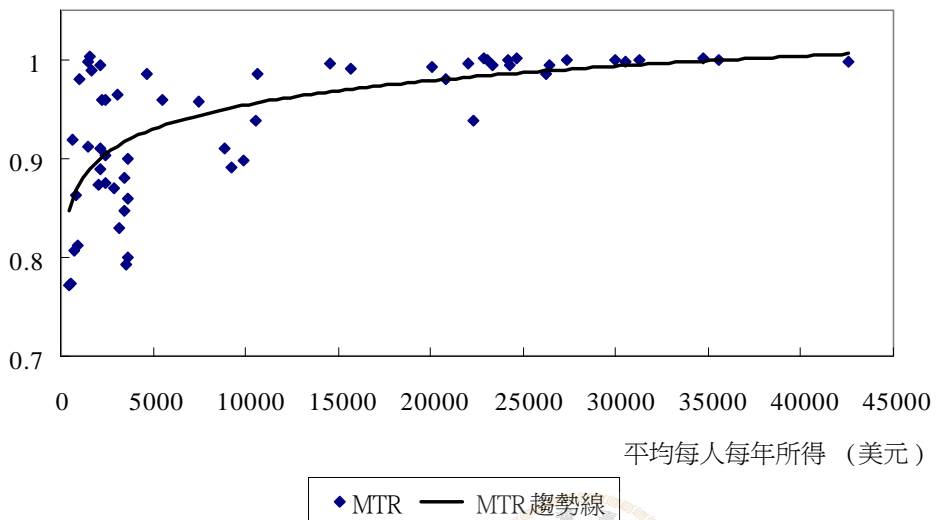


圖 4 共同技術比率平均值與每人每年所得之關係

表 4 各群組國家 1990-2005 年群組效率、共同效率、共同技術比率平均變動率

國家分類與名稱							
高所得國家 (HCs)	Geff-r	Meff-r	MTR-r	中低所得 (LMCs)	Geff-r	Meff-r	MTR-r
愛爾蘭 (Ireland)*	0.2848	0.6502	0.3712	馬來西亞 (Malaysia)	1.0306	1.1662	0.1560
盧森堡 (Luxembourg)*	0.2826	0.3555	0.0722	泰國 (Thailand)	0.1975	0.9377	0.7547
澳大利亞 (Australia)*	-0.1136	0.2293	0.3597	伊朗 (Iran)	0.1165	0.0899	-0.1074
挪威 (Norway)*	0.5397	0.5390	0.0022	波蘭 (Poland)*	-0.0508	-0.1148	-0.0676
紐西蘭 (New Zealand)*	-0.3236	-0.3445	-0.0014	墨西哥 (Mexico)	0.1389	-0.3670	-0.5013
冰島 (Iceland)*	-0.8388	-0.8388	0.0000	哥倫比亞 (Colombia)	0.1020	-0.0476	-0.1539
美國 (United States)	-0.1299	0.0098	0.1423	阿爾及利亞 (Algeria)	0.0142	1.3439	1.3046
西班牙 (Spain)*	0.1613	0.1685	0.0071	巴西 (Brazil)	0.0034	0.5830	0.5775
加拿大 (Canada)*	0.0950	0.0928	0.0023	南非 (South Africa)	-0.0646	-0.6998	-0.6410
荷蘭 (Netherlands)*	0.6108	0.6108	0.0000	委內瑞拉 (Venezuela)	-1.0914	-0.9919	-0.0959
英國 (United Kingdom)*	0.3138	0.5957	0.3072	愛沙尼亞 (Estonia)*	0.1430	-0.0345	-0.1941
瑞典 (Sweden)*	1.0425	1.0425	0.0000	斯洛伐克 (Slovakia)*	0.3319	-0.1838	-0.5265
芬蘭 (Finland)*	1.0471	0.9789	-0.0694	匈牙利 (Hungary)*	0.6428	0.2825	-0.3878
奧地利 (Austria)*	0.3703	0.3711	0.0008	白俄羅斯 (Belarus)	-0.2153	-0.2980	-0.0911
丹麥 (Denmark)*	0.1429	0.2103	0.0701	捷克 (Czech Republic)*	-0.1245	-0.9220	-0.8008
比利時 (Belgium)*	0.2376	0.2376	0.0008	哈薩克 (Kazakhstan)	-0.9952	-1.1279	-0.1562
法國 (France)*	0.3860	0.3860	0.0008	羅馬尼亞 (Romania)*	0.4602	0.3913	-0.0729
德國 (Germany)*	0.3640	0.6540	0.2955	立陶宛 (Lithuania)*	0.9314	1.2483	0.2546
義大利 (Italy)*	-0.0598	0.0063	0.0751	保加利亞 (Bulgaria)*	0.7297	-0.4305	-1.1493
日本 (Japan)*	0.0766	0.1490	0.0774	拉脫維亞 (Latvia)*	2.0204	1.6754	-0.4559
瑞士 (Switzerland)*	0.1389	0.2062	0.0687	俄羅斯 (Russian Federation)*	0.0460	1.0240	0.9705
HCs 平均	0.2204	0.3005	0.0849	烏克蘭 (Ukraine)*	-0.6055	-0.3165	0.3453
				LMCs 平均	0.1710	0.1458	-0.0472
中高所得國家 (UMCs)	Geff-r	Meff-r	MTR-r	低所得國家 (LCs)	Geff-r	Meff-r	MTR-r
南韓 (South Korea)	2.0401	0.1128	-1.8667	中國 (China)	0.0069	-1.0140	-1.0375
阿根廷 (Argentina)	-0.4016	-0.8047	-0.4350	印度 (India)	1.0591	-0.4849	-1.4921
台灣 (Taiwan)	0.2852	0.5078	0.2207	埃及 (Egypt)	0.4217	1.5932	1.1779
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	-0.2549	-0.4731	-0.2505	印尼 (Indonesia)	0.2957	0.9405	0.5836
希臘 (Greece)*	0.5663	0.2404	-0.3227	巴基斯坦 (Pakistan)	0.2139	0.1243	-0.0782
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	-0.1862	-1.3784	-1.1773	烏茲別克 (Uzbekistan)	-0.4422	0.0682	0.5043
葡萄牙 (Portugal)*	0.2437	0.4312	0.1927	LCs 平均	0.2592	0.2046	-0.0570
克羅埃西亞 (Croatia)*	-1.5417	-1.7979	-0.2602				
UMCs 平均	0.0939	-0.3952	-0.4874				

資料來源：本研究估算。

說明：1. 按產出排名加以排序。

2. 上標有“*”符號的國家為京都議定書簽署國。

3. Geff-r 為群組效率之變動率平均值、Meff-r 為共同邊界效率之變動率平均值、MTR-r 為共同技術比率之變動率平均值。



就 HCs 群組內各國的 $TE^{group-k}$ 變動率 Geff-r 而言，以表現最極端的國家來看，表現最佳的二個國家為芬蘭與瑞典，在 1990-2005 年間，這二個國家的 Geff-r 上升了 1.05% 與 1.04%，而若比較的基準轉變為所有最佳潛在技術的 TE^{meta} 變動率時，則 Meff-r 在這 16 年間共上升了 0.98% 與 1.04%。

另一方面，HCs 裡 Geff-r 平均衰退幅度最大的二個國家分別是冰島與紐西蘭，其 $TE^{group-k}$ 在這 16 年間共下降了 0.83% 與 0.32%，而 TE^{meta} 則是下降了 0.83% 與 0.34%。群組內其餘各國的相關資訊，可以類似的方式進行判讀。

這些資訊提供了一個有趣的現象是，在生產效率方面表現不佳的冰島與紐西蘭，由表 2 可發現其產出成長率在 HCs 群組中享有不錯的排名，分別是第五與第六名。根據成長理論可知，產出成長之來源不外乎為投入的累積、生產效率的提升與技術之成長。既然冰島與紐西蘭在生產效率之提升與技術之追趕動態上並沒有太好的表現，因此可推論得知這二國的產出成長，顯然大部分來自於投入要素之增長，而表 2 中所陳列的各投入變動率資訊亦證實了上述推論。換言之，倘若冰島與紐西蘭不在未來設法改善生產效率與提升生產技術，當各項要素投入到達一定之上限時，則產出之成長也將無以為繼。以類似的邏輯檢視 HCs 中產出成長表現優異的盧森堡，可發現該國的成長除了來自於投入要素之累積外，高度的生產效率表現亦是造就高度產出成長之主因之一。

在 UMCs 的部分，平均 $TE^{group-k}$ 表現最佳的二個國家則是台灣與沙烏地阿拉伯，其效率值分為 0.9906 與 0.9663，而平均 TE^{meta} 則是 0.9791 與 0.9263。這數據表示，與群組內最佳技術水準進行比較後，台灣與沙烏地阿拉伯的改善空間仍有 0.94% 與 3.37%；若比較的基準改變為最佳潛在技術所描繪成的共同邊界時，則改善空間增加為 2.09% 與 7.37%。反之，表現最差的二個國家是克羅埃西亞與南韓，對應的平均 $TE^{group-k}$ 值分別為 0.8544 與 0.8331，平均 TE^{meta} 值則是 0.8431 與 0.7363。純粹與群組內最佳技術水準做比較時，二國有將近 14.56% 與 16.69% 的改善空間；倘若比較基準轉變為共同邊界，則效率改善空間更高達 15.69% 與 26.37%。

其次，Geff-r 在這 16 年間表現較好的三個國家分別是南韓與希臘，平均增長了 2.04% 與 0.57%；但若進一步將比較基準轉為最佳潛在技術的共同邊



界時，表現最佳的卻是台灣與葡萄牙， $Meff-r$ 分別進步了 0.51% 與 0.43%。且根據表 6 之結果可知，若技術追趕的動態變化 $MTR-r$ 是關切的焦點，事實上也唯有台灣與葡萄牙是在 UMCs 群組裡，其技術水準是持續向最佳的生產技術邁進的二個國家；¹¹ 換言之，UMCs 的絕大部分國家在這 16 年間受到制度環境影響的技術水準反而是下降的。也因此南韓與希臘雖然在 UMCs 的群組內比較時享有不錯的成長，但在最佳潛在技術的共同邊界之比較上，卻未能有優異的表現。另一方面，在 $Geff-r$ 衰退部分，克羅埃西亞與阿根廷分居第一及第二名，衰退幅度則分別是 1.54% 與 0.40%。而當我們將焦點轉向 TE^{meta} 之衰退程度時，克羅埃西亞仍是衰退幅度最大的國家，其平均衰退率為 1.80%，則斯洛維尼亞取代阿根廷成為 UMCs 中衰退的第二名，其 TE^{meta} 在這 16 年間共衰退了 1.38%。

配合表 2 的產出與投入要素成長率資訊，雖然在 UMCs 中產出成長表現最佳的前二名國家為南韓與阿根廷，但這二個國家在共同邊界效率的表現上並不理想，以其技術水準之追趕在衰退的情況下，這二個國家的產出成長可歸屬於投入累積之成長型態。反觀產出成長第三名的台灣，其產出成長率與第二名的阿根廷不相上下，但在要素之投入上明顯低於南韓與阿根廷，且在 TE^{meta} 與 $MTR-r$ 都有相對較佳的表現下，由此可得知台灣之產出成長主要為技術與效率導向的成長型態。

在 LMCs 群組中， $TE^{group-k}$ 平均值表現最好的二個國家是巴西與南非，其對應的 $TE^{group-k}$ 平均皆為 0.995；而表現最差的二個國家則分別是立陶宛與白俄羅斯， $TE^{group-k}$ 平均值只有 0.7756 與 0.7894。若比較的是 TE^{meta} 平均值，則表現最好的二個國家分別為哈薩克與南非，其效率值為 0.9844 與 0.96；而表現最差的則是立陶宛的 0.7044 與斯洛伐克之 0.7081，顯示這二個國家若要達到以最佳的生產技術進行生產，則仍有高達近 30% 的改進空間。

在 $Geff-r$ 的表現上，拉脫維亞與馬來西亞分佔 LMCs 中的第一及第二名，16 年間共成長了 2.02% 與 1.03%；而 $Meff-r$ 表現較佳的則是拉脫維亞與

¹¹ 由表 4 中的 $MTR-r$ 數值看出。該數值主要由 MTR 的變動率計算而來，當 $MTR-r$ 值為正值時，表示在這 16 年間，該國的技術水準不斷向最佳的生產技術邁進。反之，當 $MTR-r$ 值為負數時，則表示技術水準是衰退的。

阿爾及利亞，則分別以平均每年 1.68%與 1.34%的速率成長。至於在效率衰退方面，委內瑞拉與哈薩克的 Geff-r 以每年 1.09%與 1%的速率衰退，此外，這二個國家亦是 Meff-r 衰退率最大的國家，分別以每年 1%與 1.13%的幅度持續衰退中。

配合表 2 的資料可知，LMCs 國家群組中產出增長率表現最好的二個國家為馬來西亞與泰國，但其所使用的要素投入增長率亦高於 LMCs 的絕大部分國家。此外在 1990-2005 年間，這二個國家的平均共同邊界效率分別只有 0.7456 與 0.7263，加上代表技術追趕的 MTR-r 表現並不特別突出，由此亦可認定這二個國家亦屬於依賴要素投入之成長型態。

最後，在發展程度最低的 LCs 中，平均群組效率表現最佳的二個國家為中國與埃及，對應的平均效率值為 0.9925、0.9875；表現最差的是印度與印尼，平均效率值分別為 0.9256、0.9706。而平均共同邊界效率方面，表現最佳的是烏茲別克與埃及，效率平均值約為 0.9006 與 0.8525；而表現最差的二個國家仍是印度與印尼，其共同邊界之效率平均值皆為 0.7494，表示這些國家即便採用最佳的生產技術，亦仍有約 25%的改進空間。

接著由 Geff-r 的表現可看出，印度與埃及的平均 $TE^{group-k}$ 近年在 LCs 裡，分別以平均每年 1.06%、0.42%的幅度成長；而唯一呈現衰退的國家為烏茲別克，其 $TE^{group-k}$ 平均每年衰退了 0.44%。而 Meff-r 的表現上，埃及與印尼表現出較佳的成長趨勢，以平均每年 1.59%與 0.94%的幅度持續成長。另一方面，印度與中國則是以平均每年約 0.48%與 1%的幅度在衰退中。

進而，搭配表 2 的投入產出年度變動率資訊，在 LCs 產出年增率表現最佳的二個國家分別是中國與印度，但對應的各項要素投入之成長幅度亦相當大，表示此二國家的經濟發展對要素投入之高度依賴。此外，由於這二個國家在共同邊界效率值之表現上並不理想，加上對應的 MTR-r 值高達-1.04%與 -1.49%，表示這 16 年間中國與印度的制度環境不但沒有支持生產技術之提升，反而是持續衰退。由此可知，中國與印度雖享有高度的產出成長率，但其發展型態仍依賴要素之大量投入，若這些國家未來仍希望保持較佳的產出成長，改善生產效率與藉由制度環境之改革來提升技術水準，將是相關政策可考慮調整的方向。



4.3 不同國家群組之效率決定因子分析

而為驗證效率的決定因子，相關的實證式可設定如(9)式所示

$$\begin{aligned} TE_{it}^h = & \beta_{0i} + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it}^2 + \beta_3 INDUS_{it} + \beta_4 INDUS_{it}^2 \\ & + \beta_5 POPDEN_{it} + \beta_6 POPDEN_{it}^2 + \beta_7 OPENNESS_{it} + \beta_8 OPENNESS_{it}^2 \\ & + \beta_9 CALABOR_{it} + \beta_{10} CALABOR_{it}^2 + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

$h = group, meta$

其中 i 表示各 DMU、 t 為不同年份， β 為待估計係數， ε 為服從常態分配的隨機誤差項。

至於效率的決定因子，除了考慮四個群組國家各自對應的 $TE^{group-k}$ 之決定因子之影響外，亦以全部樣本為基礎估算 TE^{meta} 效率決定因子之影響。而函數形式之設定，則選擇二次方形式 (quadratic form) 以捕捉各解釋變數可能存在的非線性影響效果。此外，在(9)式設定下的所有模型，在同時進行隨機效果模型 (random effect model, RE) 與固定效果模型 (fixed effect model, FE) 之估計後，根據 Hausman χ^2 檢定的結果，皆選擇固定效果模型之估計結果以得到後續相關分析所需的數據。

4.3.1 共同邊界效率值決定因子之分析

根據表 5 的估計結果顯示，所有國家樣本之共同邊界效率值 TE^{meta} 主要受到一國的每人所得水準 (GDP)、以工業產出附加價值佔 GDP 比例表示的產業結構 (INDUS)、人口密度 (POPDEN)、貿易開放度 (OPENNESS)、單位勞動資本 (CALABOR) 之影響。在上述這些顯著的影響因子裡，工業產出附加價值佔 GDP 比例表示的產業結構 (INDUS) 對 TE^{meta} 為正向線性影響，其餘顯著的解釋變數與 TE^{meta} 之間皆為非線性關係。其中，人口密度 (POPDEN)、貿易開放度 (OPENNESS) 與 TE^{meta} 之間呈現先升後降的倒 U 字型關係。反之，單位勞動資本 (CALABOR)、每人所得水準 (GDP) 與 TE^{meta} 之間則呈現先降後升的 U 字型關係。

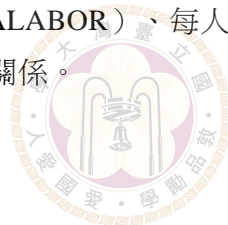


表 5 效率決定因子估計結果

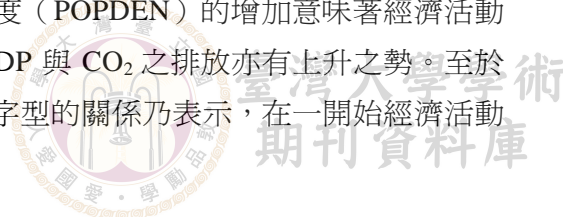
變數	全部樣本 (TE ^{meta})	HCs (TE ^{group-k})	UMCs (TE ^{group-k})	LMCs (TE ^{group-k})	LCs (TE ^{group-k})
Constant	4.4741*** (16.41)	3.5443* (1.84)	0.2516 (0.07)	6.8491*** (7.04)	2.9056* (1.64)
lnGDP	-1.0023*** (13.71)	-0.7627** (-2.01)	-0.0952 (-0.12)	-1.6052*** (-6.34)	-0.5998 (-1.12)
lnGDP ²	0.0632*** (13.00)	0.0493*** (2.64)	0.0221 (0.51)	0.1127*** (6.79)	0.0495 (1.19)
INDUS	0.4652** (2.23)	0.3391 (0.85)	1.1514*** (3.76)	0.0544 (0.21)	0.6820 (1.61)
INDUS ²	-0.3856 (-1.43)	0.1316 (0.22)	-1.4345*** (-3.69)	0.0511 (0.16)	-0.8494 (-1.31)
POPDEN	0.3811*** (8.09)	0.2578*** (2.70)	-0.0045 (-0.02)	-0.4364** (-2.43)	-0.2333*** (-3.62)
POPDEN ²	-0.0428*** (-7.32)	-0.0234** (-2.29)	-0.0029 (-0.17)	0.2279* (1.95)	0.0723*** (5.62)
OPENNESS	0.1268*** (5.49)	0.1266*** (4.90)	-0.0761 (-1.19)	-0.0137 (-0.42)	-0.2623** (-2.23)
OPENNESS ²	-0.0571*** (-5.98)	-0.0561*** (-6.84)	0.0457 (1.57)	0.0051 (0.35)	0.1901* (1.93)
CALOBOR	-0.0633*** (-15.41)	-0.0461*** (-14.03)	-0.1639*** (-8.72)	-0.1698*** (-10.88)	-0.1946** (-2.13)
CALOBOR ²	0.0016*** (11.29)	0.0011*** (9.76)	0.0134*** (7.88)	0.0278*** (8.33)	0.1293 (1.49)
F 值	46.36	70.98	18.03	29.35	19.98
調整 R ²	0.4280	0.6161	0.7759	0.4293	0.6495
內生性檢定	0.1522	0.8291	0.9832	0.8714	0.1951
Hausman χ^2 檢定	121.32	42.99	50.03	117.47	121.88

資料來源：本研究估計。

說明：1. 括號內為 t 檢定值，估計係數上標“***”表示係數在 1% 顯著水準下異於零；上標“**”表示在 5% 顯著水準下異於零；上標“*”表示在 10% 顯著水準下異於零。

2. 本文以 Durbin–Wu–Hausman 程序檢定內生性 (endogeneity) 假設，以 10% 顯著水準做為內生性檢定 p 值之顯著與否的判斷標準時，所有樣本群組皆拒絕存在內生性問題之假設。

而在這些相關的因子中，人口密度 (POPDEN) 的增加意味著經濟活動的發展日漸頻繁，此趨勢將伴隨著 GDP 與 CO₂ 之排放亦有上升之勢。至於人口密度 (POPDEN) 所呈現的倒 U 字型的關係乃表示，在一開始經濟活動



增加所帶來 GDP 之成長高於處理 CO₂ 所耗費之成本，因此 TE^{meta} 會隨之上升。然而，當人口密度超過一定程度後，則處理 CO₂ 所需消耗的成本將高於 GDP 之增加，因此 TE^{meta} 反而開始下降。

在同樣呈現倒 U 字型關係的貿易開放度 (OPENNESS) 因子上，一國的貿易開放度越高時，越容易得到較具環保效果的生產技術，進而對 TE^{meta} 產生正面的影響。然而在另一方面，貿易開放度越高的國家，卻也更容易吸引更多境外的 DMU 進駐以從事生產活動，進而令 CO₂ 排放隨之增加，如此，將使得 TE^{meta} 產生反向的效果。而倒 U 字型的關係表示，貿易開放在初期的正面效果高於反向效果，但當越過特定的臨界點後，反而是負面效果大於正面效果。

進入單位勞動資本 (CALABOR) 的影響效果時，一般而言，當國家發展程度越高時，資本形成的貨幣價值普遍較高，因此每單位勞動可分配到的資本價值也就越高。然而，不同發展程度所使用之資本型態有所不同，因而對 TE^{meta} 可能產生不同方向的影響。普遍而言，當經濟發展程度越高時，越容易對同時兼具環境保護效果的資本產生需求，進而令生產過程中對環境相對容易產生傷害的資本比例將逐漸減少；反之，在發展的初始階段，投入的資本型態多著重於快速提升經濟發展而非環境保護，因此所使用的資本型態自然也較不具環境保護效果。也因此，單位勞動資本與 TE^{meta} 之間的互動呈現先降後升之 U 字型關係。

最後在每人所得水準 (GDP) 對 TE^{meta} 的影響關係上，可藉由過去相關研究所歸納而得的環境所得效果作為解釋。簡而言之，所得效果是指當每人所得持續上升時，支持消費行為背後的理由與偏好也將有所不同。大體而言，消費者傾向先滿足維生需求、接著轉向要求高品質的產品或甚至是與維生無關的奢侈品之消費，最後則進而要求廠商生產對環境傷害較少的環保商品。而除了消費行為上有所改變外，環保意識的覺醒也將反映在決策單位訂定出較為嚴格的环境法規之要求上，而這些行為最後也將呈現出較低的負面產出。於是，隨著每人所得的持續上升， TE^{meta} 將呈現出先降後升的 U 字型關係。



4.3.2 各群組效率值決定因子之分析

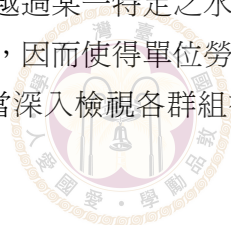
進一步觀察各群組所對應的 $TE^{group-k}$ 之決定因子，同樣的解釋變數之影響程度與方向在各群組間不盡相同，表示因發展程度不同，同樣的決定因子對 $TE^{group-k}$ 所帶來的影響方式也有所不同。

在 UMCs 中，產業結構 (INDUS) 對 $TE^{group-k}$ 之影響則是呈現先升後降的趨勢。這主要是由於當工業產出佔總產值比例的持續上升除了帶來 GDP 的成長外，CO₂ 亦會快速成長。換言之，處理 CO₂ 所付出的代價也將隨之上升。因此，在工業產出佔總產值比例達到一定的規模後，對於提升 GDP 所帶來的邊際效益將低於處理 CO₂ 所耗費的邊際成本，此時衡量出來的 $TE^{group-k}$ 也將逐漸下降。

人口密度 (POP DEN) 對除了 UMCs 外的各群組國家 $TE^{group-k}$ 皆有影響，然而，LMCs 與 LCs 國家群組中，伴隨人口密度增長所帶來經濟活動之頻繁亦對應著 $TE^{group-k}$ 之提升；另一方面，在 HCs 中，人口對 $TE^{group-k}$ 之影響則是呈現先升後降的趨勢，且配合實際資料進行檢視，HCs 目前平均而言處於 $TE^{group-k}$ 與人口密度反向互動的階段，表示人口增長所帶來的大量 CO₂ 排放已對 $TE^{group-k}$ 造成相當程度的衝擊。

貿易開放度 (OPENNESS) 對 HCs 與 LCs 而言為影響 $TE^{group-k}$ 的主要決定因子之一，但影響方式卻有所不同。在 HCs 之中，貿易開放相對帶來較多能夠兼顧環境保護的生產技術，因此該因子目前與 $TE^{group-k}$ 呈現正向的互動關係。反之，在仍以經濟發展為首要目標的 LCs 而言，當貿易開放度越高時，反而容易因高所得國家 DMU 將過多的生產單位移入 LCs 境內，進而帶來較多的污染排放，最後導致 $TE^{group-k}$ 的下降。

而在單位勞動資本 (CALABOR) 方面，基本上該變數對不同技術國家群組的 $TE^{group-k}$ 都會產生影響。U 字型關係表示一開始單位勞動資本之增加所帶來 GDP 之成長低於處理 CO₂ 所耗費之成本，進而令 $TE^{group-k}$ 隨之下降；然而，當單位勞動資本持續上升直到越過某一特定之水準後，由於資本結構中投入於環境保護的資本量逐漸增加，因而使得單位勞動資本隨之增加，進一步帶來了 $TE^{group-k}$ 之改善。然而，當深入檢視各群組裡實際資料時，亦只



有 HCs 少部分的高度發展國家處於 $TE^{group-k}$ 隨單位勞動資本的增加而上升的階段，其餘絕大部分國家仍處於單位勞動資本與 $TE^{group-k}$ 之間呈現反向關係之階段。

最後，每人所得水準（GDP）在 HCs 與 LMCs 裡皆顯著影響 $TE^{group-k}$ 。由係數估計結果可知，基本上每人所得水準對 $TE^{group-k}$ 之影響亦呈現出先降後升的 U 字型關係。當我們配合各群組之每人所得資料進行檢視後發現，目前 HCs 與 LMCs 皆處於隨著每人所得水準的提升， $TE^{group-k}$ 也隨之上升的正向互動關係階段上。

5. 結語

過去研究所採用的傳統效率之衡量方式，無法捕捉到減少非意欲產出 CO_2 對生產效率之影響；特別是在承諾減量已成為世界趨勢的前提下，採用過去的衡量方式，將無法反應相關政策所欲達成的經濟發展與 CO_2 的減量目標。同時，在各國所具備制度環境各異的情況下，若依傳統將所有國家放在同一基準進行比較的方式，並無法得知這些相異的環境條件對效率衡量結果之影響。為了解決上述的問題，本文結合了能夠考慮非意欲產出的方向性距離函數與共同邊界分析架構，以期能得到跨國生產技術效率更精確的衡量結果。

結果顯示，¹² 除了依世界銀行分類的最低所得國家群組外，其餘的中低所得、中高所得及高所得三個群組國家皆有部分國家位於潛在最佳生產技術的共同邊界上，且共同邊界效率值與共同技術比率的變動趨勢大致與各國發展程度一致。換言之，發展程度越高的國家，平均而言擁有較佳的生產技術水準，加強相關政策的管理以提升效率水準，將是相關政策可遵循的方向；

¹² 審查人之一建議本文結果期能與現有文獻結果做比較與印證。然而，如前言所陳述，到目前為止，採用與本文完全相同的架構進行跨國生產技術效率比較之實證研究仍付之闕如。這也是本文得以存在的最大理由。於是，與過去文獻的比較與對照並無太大意義，不論結果相同或相異，都將自我矛盾、也難合理化本文前言所陳述本研究可能存在的貢獻。



反之，發展程度越低的國家，除了在相關生產政策之管理與執行需要加以改進外，戮力讓生產技術朝向潛在最佳生產技術水準邁進，亦將是一個重要的政策方向。

另一方面，針對各種制度環境結構因子與影響生產技術水準之高低與優劣的效率因子，所進行的分析結果顯示，無論對於共同技術效率或是不同國家群組技術效率，大體而言當每人所得逐漸上升後，民眾消費習慣的改變與環境意識之覺醒，將有助於技術效率的上升。此外，資本結構隨著經濟發展而越加著重於環境保護資本之投入時，也同樣對提升生產效率有所助益。貿易開放程度對於高所得國家而言，會因為帶來較多兼顧環境保護的生產技術而提升技術效率。

反之，對於低所得國家而言，貿易開放程度越高，會因為吸引過多境外生產單位進入境內從事生產，進而帶來大量排放而令技術效率下降。人口密度藉由頻繁的經濟活動，除了帶動 GDP 的成長，也同時帶動 CO₂ 排放量的增加。在經濟發展初期，正面產出的 GDP 成長高過負面產出 CO₂ 之增長率，因此對提升生產效率有正面的助益；然而若無止盡令人口密度上升，最終也將使得此一關係為之逆轉，反而造成生產效率的降低。換言之，人口密度的控制與環保資本的投入，將是各國在同時考量正向的經濟發展，又要顧及負向 CO₂ 減量之情況下，在提升整體生產效率的方向重點。



參考文獻

行政院主計處 (2009), 中華民國統計資網。

<http://www.stat.gov.tw/mp.asp?mp=4>。

經濟部能源局 (2009), 《能源統計年報》, 台北: 經濟部能源局。

<http://www.moeaec.gov.tw/opengovinfo/Plan/all/WorkStatisticsAll.aspx>

Arcelus, F. J. and P. Arocena (2005), "Productivity Differences across OECD Countries in the Presence of Environmental Constraints," *Journal of the Operational Research Society*, 56, 1352-1362.

Atkinson, S. E. and R. H. Dorfman (2002), "Bayesian Measurement of Productivity and Efficiency in the Presence of Undesirable Outputs: Crediting Electric Utilities for Reducing Air Pollution," *Journal of Econometrics*, 126, 445-468.

Battese, G. E. and D. S. P. Rao (2002), "Technology Gap, Efficiency, and a Stochastic Metafrontier Function," *International Journal of Business and Economics*, 1, 87-93.

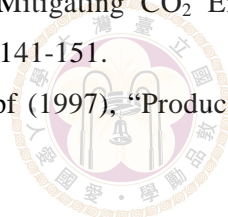
Battese, G. E., C. J. O'Donnell, and D. S. P. Rao (2004), "A Metafrontier Frameworks Production Function for Estimation of Technical Efficiency and Technology Gap for Firms Operating Under Different Technology," *Journal of Productivity Analysis*, 21, 91-103.

Borghesi, S. (1999), "The Environmental Kuznets Curve: A Survey of the Literature," *FEEM Working Paper*, No. 85-99.

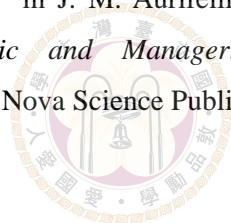
Boyd, G. A., G. Tolley, and J. Pang (2002), "Plant Level Productivity, Efficiency, and Environmental Performance of the Container Glass Industry," *Environmental and Resource Economics*, 23, 29-43.

Chen, T. Y. (2001), "The Impact of Mitigating CO₂ Emissions on Taiwan's Economy," *Energy Economics*, 23, 141-151.

Chung, Y. H., R. Färe, and S. Grosskopf (1997), "Productivity and Undesirable



- Outputs: A Directional Distance Function Approach,” *Journal of Environmental Management*, 51, 229-240.
- Dinda, S. (2004), “Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey,” *Ecological Economics*, 49, 431-455.
- Dyckhoff, H. and K. Allen (2001), “Measuring Ecological Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA),” *European Journal of Operational Research*, 132, 312-325.
- Färe, R., S. Grosskopf, and C. A. Pasurka (2001), “Accounting for Air Pollution Emissions in Measures of State Manufacturing Productivity Growth,” *Journal of Regional Science*, 41, 381-409.
- Färe, R., S. Grosskopf, D. W. Noh, and W. Webber (2005), “Characteristics of a Polluting Technology Theory and Practice,” *Journal of Econometrics*, 126, 469-492.
- Färe, R., S. Grosskopf, and W. L. Weber (2006) “Shadow Prices and Pollution Costs in U.S. Agriculture,” *Ecological Economics*, 56, 89-103.
- Friedl, B. and M. Getzner (2003), “Determinants of CO₂ Emissions in a Small Open Economy,” *Ecological Economics*, 45, 133-148.
- Grossman, G. M. and A. B. Kruger (1995), “Economic Growth and the Environment,” *Quarterly Journal of the Economics*, 110, 353-377.
- Heerink, N., A. Mulatu, and E. Bulte (2001), “Income Inequality and the Environment: Aggregation Bias in Environmental Kuznets Curves,” *Ecological Economics*, 38, 359-367.
- Heil, M. T. and T. M. Selden (2001), “Carbon Emissions and Economic Development Future Trajectories Based on Historical Experience,” *Environment and Development Economics*, 6, 63-83.
- Iyer, K., A. Rambaldi, and K. K. Tang (2005), “Globalisation and the Technology Gap: Regional and Time Evidence,” in J. M. Aurifeille, S. Svizzero, and C. Tisdell, (ed.), *Leading Economic and Managerial Issues Involving Globalisation*, 213-227, New York : Nova Science Publishers Press.



- Kumar, S. (2006), "Environmental Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis Using Malmquist-Luenberger Index," *Ecological Economics*, 56, 280-293.
- Lee, J. D., J. B. Park, and T. Y. Kim (2002), "Estimation of the Shadow Prices of Pollutants with Production-Environment Inefficiency Taken into Account a Nonparametric Directional Distance Function Approach," *Journal of Environmental Management*, 64, 365-375.
- Lindmark, M. (2002), "An EKC-Pattern in Historical Perspective : Carbon Dioxide Emissions, Technology, Fuel Pieces and Growth in Sweden," *Ecological Economics*, 42, 333-347.
- Murty, S. and R. Russell (2002), "On Modeling Pollution Generating Technologies," *Working Paper Series*, No. 02-14.
- O'Donnell, C. J., D. S. P. Rao, and G. E. Battese (2007), "Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-Level Efficiency and Technology Ratios," *Empirical Economics*, 34, 231-255.
- Panayotou, T. (1997), "Demystifying the Environmental Kuznets Curve Turning a Black Box into a Policy Tool," *Environment and Development Economics*, 2, 465-484.
- Picazo-Tadeo, A. J., E. Reig-Martinez, and F. Heranadez-Sancho (2005), "Directional Distance Functions and Environmental Regulation," *Resource and Energy Economics*, 27, 131-142.
- Ravallion, M., M. Heil, and J. Jalan (2000), "Carbon Emissions and Income Inequality," *Oxford Economic Paper*, 52, 651-669.
- Schmalensee, R., T. Stoker, and R. A. Judson (1998), "World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050," *Review of Economics and Statistics*, 80, 15-27.
- Seiford, L. M. and J. Zhu (2002), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation," *European Journal of Operational Research*, 142, 16-20.
- The World Bank (2008),
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS/>.



- Tonn, B. (2003), "An Equity First, Risk Based Framework for Managing Global Climate Change," *Global Environmental Change*, 13, 295-306.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (2007), *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
<http://www.greenhouse.gov.au/international/kyoto/>.
- United Nations Statistics Division (2008),
<http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnllist.asp>.
- Unruh, G. C. and W. R. Moomaw (1998), "An Alternative Analysis of Apparent EKC-Type Transitions," *Ecological Economics*, 25, 221-229.
- World Resource Institute (2008), *The Climate Analysis Indicator Tool Database*.
<http://cait.wri.org/>.
- Yang, H. and M. Pollitt (2007), "Distinguishing Weak and Strong Disposability among Undesirable Outputs in DEA: The Example of the Environmental Efficiency of Chinese Coal-Fired Power Plants," *Cambridge Working Papers in Economics*, No. 0741.
- Zaim, O. and F. Taskin (2000), "A Kuznets Curve in Environmental Efficiency an Application on OECD Countries," *Environmental and Resources Economics*, 17, 21-36.
- 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.



Comparison of Meta-frontier Technical Efficiencies across Countries: Multiple Outputs of Desired Economic Development and Undesired CO₂ Emissions

Je-Liang Liou

Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

Pei-Ing Wu

Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

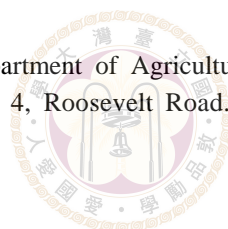
Fung-Mey Huang*

Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

Keywords: Economic development, Carbon dioxide, Directional distance function approach, Meta-frontier approach, Group frontier efficiency, Meta frontier efficiency, Panel data

JEL classification: C23, C61, Q56

* Correspondence: Fung-Mey Huang, Department of Agricultural Economics, National Taiwan University. Address: 1, Section 4, Roosevelt Road. Tel: +886-2-33662650; Email: fmhuang@ntu.edu.tw.



Abstract

The use of the directional distance function along with the meta-frontier analysis is to account for the desired output of economic development and the undesired output of CO₂ emissions while the comparisons of the technical efficiencies for the overall sample countries and sub-group of the countries are made. The comparisons of technical efficiency performances are computed for the difference between a specific country and a sub-group of the countries and the meta-frontier technical efficiency that the specific country can capture up. The significant factors of institutional environment are then identified. The results show that except for the group of the low-income countries, part of the countries from all other three group countries, low middle-income, upper middle-income, and high income countries, have potential to reach the most efficient of the meta-frontier. On average, the higher level of the economic development is the higher level of the production technology is. The management of the related policy to improve technical efficiency becomes crucial for this type of country. On the contrary, countries at low level of economic development not only have to improve technical efficiency but also have to increase the level of production technology.

