

影響臺灣二氧化碳排放因素之研究(1981-1999)

周鳳瑛*

龍華科技大學企管系

* 聯繫作者：周鳳瑛，龍華科技大學企管系，地址：桃園縣 333 龜山鄉萬壽路一段 300 號，電話：(02)82093211 分機 6506，e-mail: fyc@mail.lhu.edu.tw。本文承國科會專題計畫(NSC92-2415-H-262-004)補助。

2004 年 4 月 10 日

中文摘要

為考量能源使用與生產活動的關聯性，並充分掌握初級能源與最終能源需求之間的能量轉換關係，本研究運用「以名目產值為基底之最終能源密集度」指標、產業關聯表、及國內生產毛額之最終需要資料，利用 Betts(1989)所提出的完整拆解矩陣式因素分解法，從能源轉換技術、產業能源使用、產業中間投入之關聯、直到最終需要層面的拉力，解析臺灣各產業部門初級能源需求及其相對經濟貢獻之關係。然後，再配合能源碳密集度係數的應用，以對我國 CO₂ 排放的變動進行全面性的探討。故此一分析模式可將家計與政府部門的最終商品消費，以及投資、海關輸出入等最終需要資料與初級能源需求的關係加以串連，較一般傳統文獻著重的終端需求面分析更具整體能源政策、以及溫室氣體減量之意涵，將更有助於政府相關單位研擬更全面性的能源節約政策方向，以及溫室氣體減量責任的歸屬。此乃本研究的創新。

關鍵字：二氧化碳、因素分解法、引申性能源需求

Factor Decomposition of Carbon Dioxide Emission In Taiwan (1981–1999)

Feng-Ying Chou

Department of Business Administration
LungHwa University of Science and Technology

Abstract

To take into account the association between energy use and production activity, as well as have a good grasp of the transformation between primary energy and final demand, this study unites the exact decomposition method proposed by Betts (1989), applies input-output table, and GDP's final demand to analyze the relationship of primary energy and its relative economic contribution made by each industry sector from the perspectives of energy transformation, energy use, and derived demand by final demand. Then, the carbon intensity coefficients are employed to investigate the dynamics of CO₂ emission in Taiwan. It is known from the analysis model that final commodity consumption by the household and government sectors can be associated with the relationship of final demand and primary energy, which is seen in investment and importing. It implies that the overall energy policy and greenhouse gas reduction is more concerned with in this paper than in traditional literature, which is usually focused on end-use. Further, policy recommendations are also presented in the final section of this paper.

Key words: carbon dioxide emission, factors decomposition, derived demand

一、前言

為了追求更為便捷、舒適的生活，二十世紀的人類較其先祖更重視經濟的建設與發展，而發展的成果除了歸功於科技的進步外，亦是大規模使用化石能源的結果。然而化石能源的燃燒、使用卻產生了各種氣態、液態與固態的污染物，其中二氧化碳(CO₂)的排放更引發了舉世矚目的「溫室效應」議題，這不僅對世界經濟的發展產生了負面的影響，亦直接威脅到人類的生存。

由於溫室氣體的排放(主要為 CO₂)絕大部分來自化石能源的使用，文獻上對溫室氣體排放與產業的關聯，多利用能源平衡表與產業關聯表進行分析，惟受制於部門型態的資料，能源需求的分析一直侷限在最終消費，以至於 CO₂ 排放量的計算無法完全按照氣候變遷跨政府組織(inter-governmental panel on climate change, IPCC)的參考準則法(reference approach)由能源供應的角度來衡量，故 CO₂ 排放責任在部門間的歸屬仍有爭議。過去我國的能源供應體系一直由中央政府規劃、主導，進而左右了產業的發展與能源消費的結構。近年來在國際自由化的潮流下，我國的電業、油品市場都將陸續開放競爭，能源供應將益趨多元與彈性，能源消費結構的調整也將回歸於市場的力量。值此之際，欲探討 CO₂ 減量的課題，除了產業面能源使用效率、能源低碳結構的訴求以外，實有必要慮及我國的能源供應結構，以及最終商品需要面的拉力強度，方能在顧及國際環保義務，且不損及經濟發展的同時，尋思能源與產業相關問題的因應和解決之道，以設計出有效、可行的 CO₂ 減量措施。此舉不僅方便我國減量目標的達成，亦可在國際談判場上為自己爭取合理的利益，故此為本研究之主要目的。

本研究首先參考 Alcántara and Roca(1995)的作法進行最終能源與初級能源之間的轉換設定，再運用「以名目產值為基底之最終能源密集度」指標、產業關聯表、及國內生產毛額之最終需要資料，利用 Betts(1989)所提出的完整拆解矩陣式因素分解法，從能源轉換技術、產業能源使用、產業中間投入之關聯、直到最

終需要層面的拉力，再配合能源碳係數的應用，以對我國 CO₂ 排放的變動進行全面性的探討。章節安排如后：一、前言，二、文獻探討，三、研究方法，四、實證結果分析，五、結論與建議。

二、文獻探討

溫室氣體的排放(主要為 CO₂)絕大部分來自化石能源的使用，文獻上對溫室氣體排放、能源需求與產業的關聯，多利用能源平衡表與產業關聯表進行分析，在分析方法、以及資料的應用上均存在有相當大的問題。

首先，在研究方法上，自 1970 年代後期開始，因素分解法被廣泛應用在能源與環境議題上，主要藉由影響因素的分解，對於能源的使用、以及溫室氣體的排放問題，能夠提供多面向的政策思考空間。因此，1980 年代中期以前，相關文獻主要集中在因素分解法的應用，以及跨國間能源與環境指標的比較。1980 年代後期，學者轉而重視因素分解法在方法論上缺失，諸如基準年的選取、資料有 0 值、以及殘差項過大的問題，都有修正的模型予以解決。同時，因資料型態的不同，有指標拆解分析(index decomposition analysis, IDA)型及結構拆解(structural decomposition analysis, SDA)型模式的區別。前者以部門別的時間數列資料進行恆等式的拆解，著重於部門的直接能源需求(最終能源消費)；後者乃應用產業關聯(或投入產出)表(input-output table)之產業結構進行分析，其優點在於可考量產業間因最終需求外溢(demand spillover)所帶來的間接(或引申性)能源需求的效果，但因受制於各國資料編製的頻率，無法提供年頻率的分析資訊，文獻上應用的數量遠低於前者。對於分解模式的選取，Hoekstra et al. (2003) 認為不同模式的因素拆解將可提供不同視野的思考模式。因此，研究者可依其研究主題、及資料的型態，選取合適的分解法。

以指標拆解分析型模式進行二氧化碳排放變動分析，國內以楊任徵(1999)為

代表，其利用 Kaya 恆等式將 CO₂ 排放總量分解成人口變動效果、國民所得效果(以人均 GDP 計算)、初級能源密集度、能源配比、及碳密集度等效果。該文認為，就民國 79 年到民國 88 年間，我國 CO₂ 排放的年均成長率為 6.8%，主要來自國民所得效果的年均成長率 5.3% 的貢獻，能源密集度則以年均成長率 -0.4% 的負向貢獻。

以利用產業關聯表資料進行二氧化碳排放變動分析的結構拆解型模式，我們舉 Schipper, et al., (2001) 為例。該文以製造業碳密集度變化的因素分解，進行跨國間的比較。其將碳密集度分解成產出(activity)、產業結構(structure)，發電能源結構(utility fuel mix)、最終能源配比(final fuel mix)、及產業的能源密集度(energy intensity)等效果。國內的代表文獻則有下列四篇：

(1) Lin and Chang (1996) 則利用簡單平均 parametric Divisia 指數法進行台灣 1980-1992 年資料的分析，將效果分為碳密集度，能源配比、能源密集度、產業結構等。

(2) 張四立、施欣錦(2000) 將二氧化碳排放總量的變動分解成排放係數、能源配比、能源密集度、產業結構、及經濟產出效果等，分析期間為民國 70 年到 85 年。研究結果中，產業結構對 CO₂ 的增量較有負向貢獻，能源配比在民國 80 年以前較有負向貢獻，而產業的能源密集度也僅有在民國 75-80 年間有負向貢獻，近年來較不明顯。

(3) 陳家榮、陳彥尹(2002) 乃參考 Chen and Rose (1991) 及陳家榮、吳榮華(1985) 所推導的二階結構分解投入產出模型(KLEM I-O Model) 進行 CO₂ 排放變動效果分析。該文將影響因素分解成經濟成長、產業結構變化、能源密集度變化、與能源結構變化等四因素。

(4) 林素貞等(2003) 則參考 Miller and Blair(1985) 以投入產出的架構，應用 Wright(1974) 所提出的能源乘數與污染乘數的觀念，分析能源使用與環境污染及

經濟結構之間的關係。文中首先將二氧化碳乘數設定為產業能源消費之 CO₂ 排放直接係數與產業關聯矩陣的乘積，然後，稱二氧化碳乘數的變動可區分為直接效果與間接效果。但文中並未註明其效果的分解所採用的方法，且 CO₂ 排放直接係數仍以產業最終能源消費的角度設算。

上述文獻都僅考量到最終能源的消費，對於一國的能源供應結構皆未討論。由於能源供給的規劃會直接影響能源消費的結構與總量，能源部門的轉換效率亦然。Alcántara and Roca (1995) 乃首先發難，以「投入產出分析」的精神，將最終能源與初級能源的轉換予以結構化，得出形同 input-output table 的 ES 矩陣，稱為最終能源與初級能源的轉換係數表。透過 ES 矩陣，我們將可看出一國能源供應的結構，以及能源轉換的效率。對於二氧化碳的計算，即可由初級能源總需要端予以衡量，其二氧化碳排放係數的設定較無爭議¹。惟該文在二氧化碳排放變動分析的因素分解，乃採取簡單的拉氏指數型式作矩陣式乘積的拆解，未慮及多重解的情況(Dietzenbacher and Los,1998)。Landwehr and Jochem (1997)也建議應由能源供應的角度來衡量能源的需求。他們利用因素分解法將能源總需要(total primary consumption)變動區分成活動、結構、轉換及殘差四種效果，又針對能源轉換部門，再區分為轉換結構與轉換效率變動兩效果，以有效掌握能源供給政策、能源部門結構及效率的變動對總能源需求的影響，其結果亦可供跨國比較。惟該文所使用的因素分解法未能有效處理波動路徑、及指數計算的問題，而且對於影響能源總需要的主要因素如活動效果，亦未多加著墨，對能源需求的分析仍有缺憾。

¹ 最終能源端的二氧化碳排放係數將因產業能源使用方式的不同而有差異，國際間多採用 IPCC 的參考準則(reference approach)，由能源供應角度衡量，以進行跨國間二氧化碳排放的比較，本文各類初級能源的二氧化碳排放係數乃參考楊任徵(1994)的研究：原料煤 3.37、燃料煤 3.53、原油 2.74、及 LNG2.09(單位：噸-CO₂/KLOE)。

Munksgaard and Pedersen (2000)在探討家計部門的能源消費時，首先提出直接能源消費與間接能源消費的觀念，進而引申出家計部門二氧化碳的直接排放、與間接排放。其中間接的部份，主要來自生產部門的引申性需求。由於生產部門能源之使用是為了生產供家計或其他部門所需之各種財貨，如家具、服飾品、食物及勞務等，因此，對於產業部門的溫室氣體減量制約的規範，若僅由引申性需求的角度予以審視，則每當家計部門最終需要增加時，生產部門即需隨之增加產量以提高獲利，而此過程必然增加能源的消費。因此，在利益導向的經營策略之下，減量制約的規範將不具有任何實質效益。

對於能源與 CO₂ 減量議題的探討，由上述文獻的整理可知：

- (1) 因素分解模式各有其優劣點，研究者應依研究主題及資料型態，選取合適的分解模式。
- (2) 最終能源的使用因受制於一國資源稟賦、及能源供應結構，對產業的能源使用結構、能源使用效率、及相對應的溫室氣體排放之評量與制約，若僅由片面的直接耗用予以管制，對特定產業將有失公平原則，廠商配合意願也就不高，連帶的將影響相關政策的執行效率。
- (3) 能源與環境議題的策略思考，應擴及社會、與經濟層面，尤其是最終商品的需求拉力，而不應侷限於產業製程面的規範與要求。

因此，本研究為充分掌握初級能源與最終能源需求之間的能量轉換關係，將參考 Alcántara and Roca(1995)的作法編製「能源轉換產出表」，配合產業關聯表，並將家計與政府部門的最終商品消費，以及投資、海關輸出入等最終需要資料與初級能源需求的關係加以串連。再利用 Betts(1989)所提出的完整拆解矩陣式因素分解法進行分析，較一般傳統文獻著重的終端需求面分析更具整體能源政策、以

及溫室氣體減量之意涵。

三、研究方法

為建構一條兼具能源轉換、產業關聯、與最終需要的恆等式，首先，我們參考 Alcántara and Rocal(1995)的做法，先利用我國「能源平衡表」的「轉變投入」與「轉變產出」項目資料編製「能源轉換產出表」，其間並依據我國能源轉換部門的特性略加修正²，進行最終能源與初級能源需求之間的轉換設定，以期能在考量我國既有的能源轉換技術、以及資源環境限制之下，以產業總產值為底，據實的計算與評估各產業的能源使用情況。然後，配合產業關聯係數表及最終需要的產業結構，即可推導出由最終需要面衡量的初級能源需求。公式如下：

$$FPE_{i,1} = ES_{i,j} * EA_{j,k} * EI_{k,k} * (I - A)^{-1}_{k,k} * CA_{k,m} * CS_{m,1} * CN_{1,1} \quad (1)$$

其中，

$FPE_{i,1}$ 表示能源總需要矩陣，

$ES_{i,j}$ 為能源轉換產出係數矩陣，表示最終能源與初級能源的轉換技術水準，

$EA_{j,k}$ 表示產業的最終能源消費結構矩陣，

$EI_{k,k}$ 表示產業的最終能源密集度(以產業產值為底)矩陣，為對角矩陣，

$(I - A)^{-1}_{k,k}$ 表示 k 部門的投入產出結構逆矩陣，即 Leontief 逆矩陣，

$CA_{k,m}$ 表示各類最終需要之產業結構矩陣，

$CS_{m,1}$ 表示最終需要之結構向量，

²有關我國能源轉換產出表的編製與說明，請參考周鳳瑛(2000)。

CN_{i-1} 表示最終需要總值。

下標符號分別為： i 表初級能源別， j 表初級與最終能源別($i \in j$)， k 表產業別， m 表最終需要別。

令 EC 為初級能源碳係數矩陣，由最終需要面衡量的二氧化碳排放量(FCO_2) 則可寫成(2)式所示：

$$FCO_2 = EC_{i-1} \cdot FPE_{i-1} \quad (2)$$

假設初級能源碳係數為固定常數，則二氧化碳排放的變動為：

$$\Delta FCO_2 = EC_{i-1} \cdot \Delta FPE \quad (3)$$

其中， ΔFPE 為來自(1)式矩陣乘積式的因素分解。我們可以將初級能源需求的變動分解出以下各種效果：

$$\Delta FPE \equiv FPE^t - FPE^{t-1} = \Delta ES + \Delta EA + \Delta EI + \Delta(I - A)^{-1} + \Delta CA + \Delta CS + \Delta CN \quad (4)$$

其中，

ΔES 為能源轉換技術進步效果，

ΔEA 為產業最終能源消費結構變動效果，

ΔEI 為產業最終能源密集度變動效果，

$\Delta(I - A)^{-1}$ 為產業關聯結構變動效果，

ΔCA 為最終需要之產業結構變動效果，

ΔCS 為最終需要結構變動效果，

ΔCN 為最終需要變動效果。

對於矩陣乘積式的因素分解法近年來有較多的討論。對於兩個完全一致的矩陣乘積式的變動因素分解，如(5)式所示：

$$Y^1 - Y^0 \equiv \Delta = \prod_{i=1}^n X_i^1 - \prod_{i=1}^n X_i^0 \quad (5)$$

若採泰勒展開法則(5)式會有 $n!$ 種分解法，而 Dietzenbacher and Los (1998)也分別以理論及模擬的角度說明這種結構拆解分析法會因展開方式的不同而有多重結論的現象，因此，其建議在實證應用上，應進行各分解效果的敏感性分析，提供各分解效果的變異區間。但 Betts(1988)則證明(5)式可寫成：

$$\begin{aligned} \Delta &= \sum_{k=1}^n \left\{ \prod_{j < k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) (X_k^1 - X_k^0) \frac{1}{2} \left(\prod_{l > k} X_l^1 + \prod_{m > k} X_m^0 \right) \right\}, \text{或} \\ &= \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{1}{2} \left(\prod_{l < k} X_l^1 + \prod_{m < k} X_m^0 \right) (X_k^1 - X_k^0) \prod_{j > k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

而且，在實證上，Betts(1989)建議將上兩式予以加權平均，以解決隨意選取所造成結論的差異：

$$\begin{aligned} \Delta &= 0.5 \left[\sum_{k=1}^n \left\{ \prod_{j < k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) (X_k^1 - X_k^0) \frac{1}{2} \left(\prod_{l > k} X_l^1 + \prod_{m > k} X_m^0 \right) \right\} \right] \\ &+ 0.5 \left[\sum_{k=1}^n \left\{ \frac{1}{2} \left(\prod_{l < k} X_l^1 + \prod_{m < k} X_m^0 \right) (X_k^1 - X_k^0) \prod_{j > k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) \right\} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

則第 k 因子矩陣的變動效果可表示如下：

$$\begin{aligned} \Delta_k &= 0.5 \left[\left\{ \prod_{j < k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) (X_k^1 - X_k^0) \frac{1}{2} \left(\prod_{l > k} X_l^1 + \prod_{m > k} X_m^0 \right) \right\} \right] \\ &+ 0.5 \left[\left\{ \frac{1}{2} \left(\prod_{l < k} X_l^1 + \prod_{m < k} X_m^0 \right) (X_k^1 - X_k^0) \prod_{j > k} \left(\frac{X_j^1 + X_j^0}{2} \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

此方法因無殘差項的問題，具有完整(exact)拆解的優點，且不須隨意設定基準年，並可適用於因素數 $n \geq 2$ 的情況(Betts, 1989)。本研究即採用此方法進行(4)式的拆解。相關資料的處理請參照周鳳瑛(2003)。

四、實證結果分析

表 1 為二氧化碳變動因素分解效果，首先我們由各年的總合計來看，以民國 70 年為基準年，由民國 73-75 年的二氧化碳增量，可得出平均每年的二氧化碳增量大約在 10 百萬公噸，但自民國 78-83 年每年增量則躍升為 20 百萬公噸左右，民國 83-85 年更增加為 40 百萬公噸，每年的增量成跳躍式的型態，頗為驚人。但民國 85-88 年此現象則有明顯緩和的傾向。

對於二氧化碳變動因素的分析，我們以表 2 各效果的結構來作說明。由表 2 我們可以很明顯的看出，二氧化碳的變動主要來自最終需要變動、以及產業最終能源密集度變動的正向貢獻，負向貢獻或抑制的效果則來自最終需要之產業結構變動、以及產業關聯結構的變動。由於我們的二氧化碳排放量計算主要是衡量最終需要的引申排放量，因此，最終需要變動效果佔比在 100% 上下乃屬正常，惟在高於 100% 時，表示其他效果有相當大的抑制排放貢獻，反之，則表示其他效果有正面貢獻。因此，由表 2 可看出，民國 75-83 年間，其他效果有些微的抑制貢獻，民國 88 年的抑制貢獻則有擴大的傾向。產業最終能源密集度變動效果的佔比，民國 70-75 年間約在 50% 以上，自民國 78 年後逐漸下降，民國 80-88 年間則約維持在 41% 左右。這顯示出，在民國 75 年間產業有較大的節能表現，但近年來則稍嫌停滯，有待加強。

對於二氧化碳排放的抑制效果，首推最終需要的產業結構變動，抑制效果的佔比在民國 73-75 年間約為 40% 以上，民國 78-88 年間則略降為 30% 上下。由於各經濟主體對最終需要的消費選擇態度，將影響產業的產出以及能源的使用，進而可左右二氧化碳的排放多寡。因此，如何推廣低碳、低耗能商品與勞務的消費，應是未來在二氧化碳減量政策與措施的首要重點。產業關聯結構的變動對二氧化碳排放也有相當抑制的效果，而且，值得注意的是，其抑制的比重由民國 73-85

年間的 10% 左右，提升到民國 88 年的 25.9%。由於近年來，我國高碳、及高耗能的傳統產業，如紡織業、水泥業、及石化業等，都陸續轉移到東南亞或大陸設廠生產，代之而起的是低碳(主要動力來自電力)產業，如高科技產業，以及低耗能但高附加價值的金融服務業、通訊電信業等。因此，由二氧化碳減量的角度，我國近年來的產業結構調整，將有利於減量目標的達成。

產業最終能源消費結構的變動對二氧化碳排放一直是正面的貢獻，但其佔比有逐年遞減的趨勢，在民國 88 年時轉為抑制的效果，比重為 1.6%。由此可看出，隨著全球暖化效應，以及國際間對溫室氣體減量的呼籲，產業對於能源的消費已逐漸朝向低碳能源的選擇。

初級能源轉換技術效果對二氧化碳排放，在民國 83 年前皆為抑制的貢獻，但是近年來卻轉為正面貢獻，而且，所佔比重有增加的趨勢。此項效果涉及我國初級能源配比政策，以及能源供應產業的轉換效率。在民國 75 年間由於核能三廠的正式商轉，以無碳能源高度替代煤、油等高碳能源的發電方式，使得此項效果對二氧化碳排放的抑制大幅提升。但在民國 75-82 年間，我國政經情勢因解嚴、黨禁的開放而有相當大的轉變，同時，引進高科技及產業結構的調整致使電力需求大幅增加，但也由於環保團體與環保意識的抬頭，嚴重影響台電的電源開發計畫。因此，此期間為因應大幅攀升的電力需求，台電除了適時興建大型火力電廠，並將若干燃油機組改為較大容量、且較高效率的燃煤機組。因而，其抑制效果在此期間也就稍微下降。但在民國 83-88 年間，其抑制效果已經不見，轉為對二氧化碳排放有正面貢獻。此期間由於汽電共生的推廣，以及自民國 84 年起開放民間興建電廠，如以燃煤為主的台塑麥寮及長生海湖電廠，約在民國 88 年即陸續商轉，因而提高對二氧化碳排放的貢獻。

最終需要之結構的變動，對二氧化碳的排放在民國 75 年以前乃具正面貢獻，但自民國 78 年後轉為抑制的效果，約有 2% 左右的比重。由於最終需要之結

構的變動乃係各經濟部門支出活動消長的呈現，我們另以表 3 歷年來各部門(含民間、廠商、政府、及國外部門)最終需要的初級能源用量，以及表 4 歷年來各部門之最終需要依其初級能源用量換算的二氧化碳排放量作補充說明。其中，國外部門我們僅以淨出口衡量。

由表 3 的結構比來看，民間部門的最終需要佔比最高，約在 43% 以上，次高為廠商部門，約在 30% 上下，而政府部門也有 8% 左右的比重。國外部門佔比的變化最大，自民國 70 年的 13% 逐年遞增到民國 78 年間的 28.49%，但隨後卻開始遞減，民國 88 年降為 0.75%。這也顯示，我國的進出口結構在民國 78-88 年間有相當大的變化，大幅出超的情況已不復見。民間部門佔比的逐年遞增，代表民間部門支出增加的速度遠大於其他部門，尤其是國外部門與政府部門。廠商部門的佔比變化較小。

表 4 則為歷年來各部門之最終需要依其初級能源用量換算的二氧化碳排放量。依據表 3 的觀察，再配合表 4 各部門的二氧化碳排放量之佔比來看，其中，廠商的佔比在表 4 有提高的趨勢，而國外部門情況則相反。這表示，廠商部門的支出較偏向高碳能源的產品，國外部門則藉由進出口結構的調整，其淨需求有偏低碳能源產品的傾向。民間部門、及政府部門在這兩表中的佔比差異不大，顯示民間與政府部門的產品消費結構變動不大。

由上述二氧化碳變動因素分解的結果，我們感到一憂一喜。憂心的是，攸關我國能源配比及能源供應的初級能源轉換技術效果，對二氧化碳排放在近年來轉為正面的貢獻，而且，其貢獻有加大的趨勢。這顯示出，為因應全球溫室氣體減量的議題，我國能源相關機關有必要重新檢討能源供應的政策。喜的是，產業能源使用的結構有朝向低碳能源的傾向，而最終需要的部門結構變化也有抑制二氧化碳排放的趨勢，雖然其貢獻仍低，但頗值得注意與鼓勵。

五、結論與建議

本研究透過國內生產毛額之最終需要及初級能源消費的角度衡量各產業的引伸性能源需求及相對應的 CO₂ 排放，然後，再以因素分解法探討影響 CO₂ 排放的主要因素。為建構一條兼具能源轉換、產業關聯、與最終需要的恆等式，我們參考 Alcántara and Rocal(1995)的做法編製「能源轉換產出表」，作為最終能源與初級能源需求之間的轉換設定，以期能在考量我國既有的能源轉換技術、以及資源環境限制之下，以產業總產值為底，據實的計算與評估各產業的能源使用情況。然後，配合初級能源碳係數、產業關聯係數表及最終需要的產業結構，即可推導出由初級能源需求換算的二氧化碳排放。接著，利用 Betts(1989)所提出的完整拆解矩陣式因素分解法，從能源轉換技術、產業能源使用、產業中間投入之關聯、直到最終需要層面的拉力，對我國 CO₂ 排放的變動進行全面性的探討。

實證結果主要可彙整成下列四點：

(1) 我國二氧化碳的變動主要來自最終需要變動、以及產業最終能源密集度變動的正向貢獻，負向貢獻或抑制的效果則來自最終需要之產業結構變動、以及產業關聯結構的變動。

(2) 產業最終能源消費結構的變動對二氧化碳排放一直是正面的貢獻，但其佔比有逐年遞減的趨勢，在民國 88 年時轉為抑制的效果，比重為 1.6%。由此可看出，隨著全球暖化效應，以及國際間對溫室氣體減量的呼籲，產業對於能源消費的選擇已漸朝向低碳能源。

(3) 初級能源轉換技術效果對二氧化碳排放，在民國 83 年前皆為抑制的貢獻，但是近年來卻轉為正面貢獻，而且，所佔比重有增加的趨勢。

(4) 最終需要之結構的變動，對二氧化碳的排放在民國 75 年以前乃具正面貢獻，但自民國 78 年後轉為抑制的效果，約有 2% 左右的比重。

由實證的結果，我們感到憂心的是，攸關我國能源配比及能源供應的初級能

源轉換技術效果，對二氧化碳排放在近年來轉為正面的貢獻，而且，其貢獻有加大的趨勢。這顯示出，為因應全球溫室氣體減量的議題，我國能源相關機關有必要重新檢討能源供應的政策。喜的是，產業能源使用的結構有朝向低碳能源的傾向，而最終需要的部門結構變化也有抑制二氧化碳排放的趨勢，雖然其貢獻仍低，但頗值得注意與鼓勵。

因此，對於未來我國因應溫室效應議題的政策，我們有以下三點的建議：

- (1) 能源供需規劃的政策，應避免獨厚環境面的策略思考，但也須慮及我國資源稟賦的先天缺陷，如此方能在穩定能源供應、促進能源多元化的原則下，兼顧我國的經濟發展。
- (2) 由於產業的能源使用結構深受我國能源供應結構的影響，對於產業的節能制約與規範，應在考量能源供應結構的前題下予以設計，方能有效執行。
- (3) 最終需要面管理應考慮各產業之最終商品的能源與碳密集度，尤其是國外部門，可透過進出口結構的調整，減少國內高碳能源商品的產製，有效降低 CO₂ 的排放。

表 1 我國 CO2 排放變動因素分解

單位：百萬噸-CO2

效果 \ 期間(民國)	73	75	78	80	83	85	88
初級能源轉換技術效果	-2.881	-13.509	-11.305	-8.681	-11.767	11.930	21.710
產業最終能源消費結構變動效果	1.340	3.156	0.528	1.773	1.438	0.126	-4.885
產業最終能源密集度變動效果	16.727	26.574	42.445	55.263	87.258	105.568	128.057
產業關聯結構變動效果	-2.534	-2.392	-7.151	-5.574	-15.505	-31.513	-79.309
最終需要之產業結構變動效果	-12.936	-21.930	-29.299	-46.421	-60.533	-75.163	-102.651
最終需要結構變動效果	2.194	4.817	-0.017	-3.539	-7.028	-3.838	-5.441
最終需要量變動效果	28.757	51.030	101.849	141.769	218.309	291.629	348.727
總合計	30.669	47.745	97.050	134.589	212.171	298.739	306.208

資料來源：本研究。

表 2 CO2 排放變動因素結構

單位：%

效果 \ 期間(民國)	73	75	78	80	83	85	88
初級能源轉換技術效果	(9.39)	(28.29)	(11.65)	(6.45)	(5.55)	3.99	7.09
產業最終能源消費結構變動效果	4.37	6.61	0.54	1.32	0.68	0.04	(1.60)
產業最終能源密集度變動效果	54.54	55.66	43.73	41.06	41.13	35.34	41.82
產業關聯結構變動效果	(8.26)	(5.01)	(7.37)	(4.14)	(7.31)	(10.55)	(25.90)
最終需要之產業結構變動效果	(42.18)	(45.93)	(30.19)	(34.49)	(28.53)	(25.16)	(33.52)
最終需要結構變動效果	7.15	10.09	(0.02)	(2.63)	(3.31)	(1.28)	(1.78)
最終需要量變動效果	93.77	106.88	104.94	105.34	102.89	97.62	113.89
總合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

資料來源：本研究。

表 3 最終需要引申之初級能源需求

單位：百萬公秉油當量 \%

年 \ 部門別	合計	民間	廠商	政府	國外
70	36.174 (100.00)	15.576 (43.06)	12.748 (35.24)	3.146 (8.70)	4.704 (13.00)
73	50.329 (100.00)	21.29 (42.30)	12.489 (24.81)	4.318 (8.58)	12.232 (24.30)
75	57.317 (100.00)	21.557 (37.61)	14.14 (24.67)	5.29 (9.23)	16.33 (28.49)
78	73.742 (100.00)	31.836 (43.17)	22.456 (30.45)	7.639 (10.36)	11.811 (16.02)
80	90.618 (100.00)	43.411 (47.91)	29.913 (33.01)	8.559 (9.45)	8.735 (9.64)
83	118.566 (100.00)	63.043 (53.17)	42.069 (35.48)	9.433 (7.96)	4.021 (3.39)
85	150.571 (100.00)	79.71 (52.94)	48.355 (32.11)	10.235 (6.80)	12.271 (8.15)
88	153.675 (100.00)	86.291 (56.15)	56.774 (36.94)	9.464 (6.16)	1.146 (0.75)

資料來源：本研究。

表 4 最終需要引申之二氧化碳排放量

單位：百萬噸-CO₂ \ %

年 \ 部門別	合計	民間	廠商	政府	國外
70	88.919 (100.00)	37.837 (42.55)	32.020 (36.01)	7.740 (8.70)	11.321 (12.73)
73	119.585 (100.00)	49.545 (41.43)	30.786 (25.74)	10.230 (8.55)	29.023 (24.27)
75	136.662 (100.00)	50.612 (37.03)	35.483 (25.96)	12.576 (9.20)	37.992 (27.80)
78	185.963 (100.00)	78.559 (42.24)	59.490 (31.99)	19.078 (10.26)	28.835 (15.51)
80	223.499 (100.00)	106.034 (47.44)	77.789 (34.81)	20.463 (9.16)	19.212 (8.60)
83	301.082 (100.00)	158.201 (52.54)	112.270 (37.29)	23.039 (7.65)	7.573 (2.52)
85	387.654 (100.00)	203.769 (52.56)	129.315 (33.36)	25.190 (6.50)	29.378 (7.58)
88	395.116 (100.00)	222.075 (56.20)	152.476 (38.59)	23.759 (6.01)	-3.195 (-0.81)

資料來源：本研究。

參考文獻

- 周鳳瑛 (2000), *能源轉換、技術擴散與 CO₂ 減量政策：我國能源平衡表之剖析與應用*，國立臺北大學經濟學系，博士論文。
- 周鳳瑛 (2003), 「臺灣能源需求分析-兼及能源轉換與最終需要之層面」，第四屆全國實證經濟學論文研討會，東華大學，花蓮。
- 林素貞、盧怡靜、沈宗桓 (2003), 「工業部門產業關聯對能源及二氧化碳排放之乘數效應」，*工業污染防治*，第 86 期。
- 張四立、施欣錦 (1999), 「能源使用、能源效率與 CO₂ 排放之關聯性分析」，台灣綜合經濟研究院研討會論文集。
- 陳家榮、吳榮華 (1995), *台灣地區進出口貿易對能源消費變動之影響*，經濟部能源委員會專案計畫報告。
- 陳家榮、陳彥尹 (2002), 「因應二氧化碳減量能源策略之檢討分析」，*能源季刊*，32(2)，頁 2-18。
- 楊任徵 (1999), *造成我國 CO₂ 上升關鍵因素之尺度分析*，經濟部能源委員會專案計畫報告。
- Alcántara, V. and J. Roca (1995), "Energy and CO₂ Emissions in Spain-Methodology of Analysis and Some Results for 1980-1990," *Energy Economics*, 17(3): 221-230.
- Ang, B. W. and G. Pandiyan (1997), "Decomposition of Energy-Induced CO₂ Emissions in Manufacturing," *Energy Economics*, 19(3), 363-374.
- Betts, J. R. (1989), "Two Exact, Non-Arbitrary and General Methods of Decomposing Temporal Change," *Economics Letters*, 30:151-156.
- Chen, C.Y. and Rose, A. (1991), "A Structural Decomposition Analysis of Changes in Energy Demand in Taiwan: 1971-1984," *The energy Journal*, 11(1), 127-146.
- Landwehr, M. and E. Jochem (1997), "From Primary to Final Energy Consumption: Analyzing Structural and Efficiency Changes on the Energy Supply Side," *Energy Policy*, 25(7-9), 693-702.

- Lin, S. J. and T. C. Chang (1996), "Decomposition of SO₂, NO_x and CO₂ Emissions from Energy Use of Major Economic Sectors in Taiwan," *The Energy Journal*, 17(1), 1-17.
- Lin, S.J. and T. C. Chang (1996), "Decomposition of SO₂, NO_x and CO₂ Emissions from Energy Use of Major Economic Sectors in Taiwan," *The Energy Journal*, 17(1), 1-17.
- Miller, R. E. and P. D. Blair (1985), "Input-Output Analysis Foundation and Extension," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey.
- Munksgaard, J., K. A. Pedersen, and M. Wien (2000), "Impact of Household Consumption on CO₂ Emissions," *Energy Economics*, 22:423-440.
- Shrestha, R. M. and G. R. Timilsina (1996), "Factors Affecting CO₂ Intensities of Power Sector in Asia: A Divisia Decomposition Analysis," *Energy Economics*, 18(4), 283-293.
- Torvanger, A. (1991), "Manufacturing Sector Carbon Dioxide Emissions in Nine OECD Countries, 1973-87," *Energy Economics*, 13(3), 168-186.
- Wright, D. (1974), "Energy Budgets 3 Goods and Services: An Input-Output Analysis," *Energy Policy*, 2(4), 307-315.