

所得不均度對二氧化碳排放減量承諾的影響 ——對後京都的啟示

吳珮瑛

臺灣大學農業經濟學系教授

黃雅祺

工業技術研究院產業經濟與趨勢研究中心副研究員

吳麗敏

臺灣大學農業經濟學系碩士畢業生

劉哲良

臺灣大學農業經濟學系博士候選人

摘 要

本文除考量以所得水準為 CO_2 減量承諾標準外，亦納入所得不均度，觀察已簽署承諾減量及尚未簽署的印度、中國、南韓與台灣，在考量所得不均度及所得水準後，目前所有簽署國減量比例的變動。而實證對象為結合橫跨52個國家1990至2003年之資料。

結果顯示，納入中國、印度、南韓與台灣在重分配的行列，台灣可能由目前平均的5.2%減量比例提高為6.19%，或由0.00%增加至0.99%。進而，在此重分配原則下，可以達成的 CO_2 總排放減量，將大於原來只以所得水準為考量的減量分配準則。此乃顯示同時考量所得水準與所得不均度對 CO_2 排放減量比例之擬訂，有助於加速全世界 CO_2 排放減量目標的達成。

關鍵字：長期追蹤資料、環境顧志耐曲線、基尼係數、邊際排放傾向、京都議定書、附件B國家

壹、前言

爲了減緩全球暖化所帶來的傷害，世界各國於 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 至 2012 年的第一承諾階段 (first commitment period)，必須將溫室氣體的總排放量，減少到比 1990 年的排放量平均低 5.2% 之水準。在目前各種溫室氣體排放中，又以二氧化碳 (carbon dioxide, CO_2) 所佔比例最大，因而各國的管制焦點，多著重在如何減少 CO_2 的排放。但由於化石燃料燃燒的增加，即意味經濟的成長，因此如何減低 CO_2 之排放又能成全經濟的成長，便成爲制定減量相關措施時必須審慎考慮的課題。

此外，現今主要的污染製造者多爲已開發國家，減緩氣候變遷的責任自然落在這些國家之上，因此在『京都議定書』中，發展中國家並不具減量責任。多數學者認爲，開發中國家在未來幾年內將會成爲主要溫室氣體排放國，因此可以預期，開發中國家的減量責任歸屬在未來的溫室氣體減量協商會議中將被納入討論 (Böhringer, 2003; Duro & Padilla, 2006; Socolow & Pacala, 2006)。在此前提下，減量國之社會體制差異將較『京都議定書』中附件 B 國家更爲廣泛，使得政策的制定所需考量的面向更爲複雜。因此在制定減量政策時，爲使減量成本降到最低，除了考量經濟發展與 CO_2 排放間的關係外，將各國的社會結構差異納入考量將有其必要性。

而得以反應一國社會結構差異之指標很多，比如可以涵蓋範圍相對大的人類發展指標 (human development index) 或者社會健康指標 (World Bank, 2005) 等等；也可以是範圍相對特定與集中，比如所得不均度即是其中之一。而所得不均度的大小所可能引發社會政治之穩定度，是一個可以觀察政府支用稅收於經濟發展的理想指標 (Knowles, 2001)。而文獻上將所得不均度 (income inequality) 納入以探討經濟發展與 CO_2 排放的關係，首推 Boyce (1994) 的研究，然其研究重點是期待在加入此一因素後，能獲得符合理論預期中，經濟發展與環境污染呈現倒 U 字型的環境顧茲耐曲線 (environmental Kuznets curve, EKC)。Boyce 之後的研究，同時探討所

得不均度、經濟發展及 CO_2 排放三者之關係的研究亦是此一目的之延伸 (Torrás & Boyce, 1998; Scruggs, 1998; Ravallion, *et al.*, 2000; Borghesi, 2000; Magnani, 2000; Marsiliani & Renström, 2002; Heerink, *et al.*, 2001; Hill & Magnani, 2002)。

然而，過去『京都議定書』在擬定各簽署國的減量比例時，所得水準基本上是最直接的考量因素，然此種分配方式的公平性卻也是各國時有爭論之處 (Nordhaus, 2001)。在各國所得不均度對 CO_2 排放有顯著影響的前提下，一個同時考量所得水準與所得分配之減量比例的擬定，將更能反應一國實施減量措施的應變能力，也更有助於世界整體對 CO_2 減量目標的達成 (Strazicich & List, 2003; Brandt, 2003)。

有鑑於此，本文目的將結合橫跨 52 個國家 1990 至 2003 年之資料，藉由所得不均度之引入，瞭解不同發展階段國家之經濟發展、所得不均度及 CO_2 排放量的關係，進而討論納入所得不均度的考量對目前『京都議定書』已簽署 CO_2 減量承諾國之減量比例的影響，同時也納入印度、中國、南韓與台灣等 CO_2 排放總量或人均排放量很高，但尚不是簽署減量的國家，在考量所得不均度後可能需要的潛在減量比例，以及在此一新的考量方式下，對已所有簽署國減量比例變動之影響。

貳、所得不均度對二氧化碳排放的影響

Ravallion 等 (2000) 認為， CO_2 排放量之所以會受到所得分配之影響，是因為高所得國家對於石化能源的邊際消費傾向不同於低所得國家；因而在各國所得分配相異的情況下，由能源消費所衍生而來的 CO_2 排放量就有所不同。爾後，Duro 與 Padilla (2006) 亦證實了上述的假設。因此，要完整了解 CO_2 排放及所得之關係，則應將國內所得不均度之影響納入考量。

過去在同時考慮 CO_2 排放量、所得不均度與所得水準三者關係的研究中，多數實證結果發現，所得不均度與 CO_2 排放量呈現負向關係，此與 Boyce

（1994）所提出之論述相反；但這些實證結果也發現到，在納入所得不均度後，反而使得所得水準對於 CO_2 排放量之影響，顯著由單調遞增轉為倒 U 字型（Ravallion, *et al.*, 2000; Heerink, *et al.*, 2001; Hill & Magnani, 2002）。這些分歧的結果表示，所得不均度與抑制 CO_2 排放可能是彼此抵換（trade off）或彼此強化（reenforce）的關係。此外，此一結果也有可能源自有些研究使用單年的跨國資料來進行橫斷面的實證分析（Heerink, *et al.*, 2001; Hill & Magnani, 2002），而有些則是使用合併國家與時間的長期追蹤資料（Borghesi, 2000），不同面向的資料所表達的關係構面有所不同，因此得到不同的結論。

在使用橫斷面資料所得到之所得不均度與人均 CO_2 排放量呈現負向關係的實證結果，其前提是假設高所得國家在經濟發展的過程中，所得分配已隨經濟發展而逐漸趨於平均，而多數低所得國家則是呈現所得差距較大的狀態。由於所得不均度會隨著經濟發展而縮減，又多數實證研究證實經濟成長與 CO_2 排放為正向關係，由此可推論，不均度較小的高所得國家其 CO_2 排放量較高，而分配較不平均的低所得國家之人均 CO_2 排放量反而是較低。然這些推論亦無法真正說明不均度與 CO_2 排放量的真正關係。

另一方面，在所得不均度和 CO_2 排放量呈現正向關係的實證中，推論認為所得不均度的大小，事實上為經濟發展及社會結構相互作用下的結果；貧富差距懸殊的國家，背後隱含著社會結構不健全的因素，在實施減量政策時，必須費力避免貧富差距再度擴大，因而產生更多的社會減量成本，以致於其減量效率將是較差的（Hamilton & Cameron, 1994; Smith, 1994）。而 Ravallion 等（2000）進一步透過實證模擬得到當所得分配越不平均時，邊際排放傾向（marginal propensity to emit, MPE）將會愈大，此即意涵當所得分配越不平均時，所得增加 1% 則 CO_2 排放增加之幅度將會越大，因此，當經濟發展到某一水準時，較平均的所得分配將有趨緩 CO_2 之排放。

除了上述對部分各種研究結果的釐清外，過去實證上尚有另一個重要

的結果，亦即將所得不均度納入 EKC 的討論架構時，發現所得與 CO_2 的關係由原本的單調遞增轉為倒 U 字型，但過去研究並未討論為何會有此種現象產生。在這裡我們可就經濟發展不同階段的發展來推論此一現象發生的可能理由。

首先，一般來說唯有當經濟發展到某個階段時，才會將資源轉移到環境問題上 (Grossman & Kruger, 1995)，因而開發中國家對於環境品質的重視程度尚不及已開發國家，提升經濟成長才是開發中國家的首要課題。然當一國已由農業部門型態轉型至以工業部門為主的經濟型態時，環境品質開始受到重視且所得分配亦逐漸趨於平均，此時將誘發另一個階段的發展，即技術再革新的階段。而在這個階段，技術的再創新主要著重於能源效率之提升，即使用較少的能源可以得到較大的產出及較少的污染 (Helpman, 1997; Aghion, *et al.*, 1999)。接著，由於技術的再革新，少數掌握高技術的部門，與其他部門的所得差距逐漸拉大，因此使得國內的所得不均度開始擴大，但於此同時，由於能源效率之提升， CO_2 排放量也呈現下降的情況。最後，在高技術部門之高所得吸引下，會誘使更多人移轉入高技術部門，使得所得分配可能再度呈現較平均的狀態，再加上整體之能源密集度的降低，因而出現平均每人所得持續增加， CO_2 密集度則持續下降的現象。

由前述可知，所得不均度的擴大，在一國於不同發展階段有不同的意義，因而不均度對於不同發展階段國家之經濟發展與 CO_2 排放關係的影響也會有所不同。在低度開發或開發中國家裡，發展初期 CO_2 排放量將急速增加，貧富差距也日漸擴大，若是所得分配差距擴大過於快速，將會使得低所得國家之經濟成長率下降，而生產力的下降，可能連帶使得 CO_2 排放量也趨緩；爾後當經濟發展穩定發展至一定的水準，所得分配趨於平均，則 CO_2 排放量才會再度增加。

另一方面，在高所得國家裡，所得不均度的再度擴大，可能意味著另一個階段的技術進步與產業結構轉型，不均度的拉大反而穩含著經濟成

長。此外，在高所得國家由於民主自由度高，人民有較佳的政策主導權；而在所得不均度較高的情況下，較大的貧富差距形成更多數的中間選民，預期可能會有人產生搭便車的心理，致使其對環境保護的願付價格下降，進而使得各項環保政策的執行效率較差（Glazer & Konrad, 1996）。

由此可知，高所得且所得分配平均的國家，二氧化碳減量的效率會比高所得但分配較不平均之國家來得高，如此使得二氧化碳排放量隨著經濟發展將有趨緩的機會。反之，低所得水準然所得分配不平均的國家，二氧化碳排放量將仍隨所得增加而有向上遞增的趨勢，這也形成了實證上相對常出現的經濟發展與二氧化碳排放沒有倒 U 字型關係的結果。因此，在顧及各國的不同發展水準與所得分配狀況下，理想的承諾減量比例的配置，應能同時兼顧一國的所得水準與所得不均度的條件。

參、實證估計

一、變數選擇與處理

為完成估計反應經濟發展、所得不均、 CO_2 排放量之關係，人口密集度與工業佔 GDP 之比例也視為影響 CO_2 排放量的重要因素。而為了討論同期跨國 CO_2 排放量之差異，同時檢視在時間的影響下各國 CO_2 排放量的變化，因此在資料之選用上必須依照資料的可信度、所涵蓋範圍的完整性及過去研究的經驗，來選取資料來源與各種可用之變數。在進行樣本國的篩選時，先依據所得分配資料之可得性與一致性來決定樣本國家的資料，再考量 CO_2 排放量與經濟發展變數資料的完整度進行篩選，最後，本文採用 52 國 1990 至 2003 年之長期追蹤資料來進行分析。

經濟發展之指標，乃是採用剔除物價水準之變動與人口成長影響的平均每人實質國內生產毛額（per capita real GDP）。在聯合國統計資料庫（United Nations Statistics Division, 2006）中有符合前述原則最完整之資

料，但由於該資料庫裡所提供的每人國內生產毛額資料，是使用名目 GDP (nominal GDP) 來求算，因此，本研究改採國內生產毛額以各國 1990 年物價指數平減後之資料 (GDP at constant 1990 prices in US dollars)，再除以各國人口數以求得每人實質國內生產毛額來做為經濟發展變數。由於臺灣非聯合國之會員國，故該資料庫中並無臺灣的統計資料，因此本研究有關於台灣經濟發展的變數，乃是藉由行政院主計處 (2005) 所發布之國民所得統計年報，取得名目國內生產毛額資料，除以人口數後再以 1990 年物價指數平減而得。

而各國的人均 CO_2 排放量資料，是來自 Marland、Boden 與 Andres (2006) 彙編美國田納西州 (Tennessee) 橡樹嶺國家實驗室 (Oak Ridge National Laboratory, ORNL) 所屬之 CO_2 資訊分析中心 (The Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDAIA) 而成之資料庫，此資料庫乃依據 IPCC 基礎方法推估各國 CO_2 排放量而得。CDAIA 之 CO_2 排放資料為現今可得資料中，方法最一致、且所包含之國家數與年度最為完整之 CO_2 統計資料庫。其中資料最早由 1950 年開始，最新的資料為 2005 年，因此非常適合使用在 CO_2 排放相關議題之跨國分析上 (Heil & Selden, 2001; Lindmark, 2002; Dijkgraaf & Vollebergh, 2005)。

至於所得不均度的資料，除了採用一國不同年度上不均度的變化外，為了使跨國所得不均度的比較有意義，乃使用 Deininger 與 Squire 於 1996 所彙整的吉尼係數 (Gini's concentration coefficient) 之資料，此種係數是一個介於 0 (絕對均等) 到 1 (絕對不均) 之間的量化指標。而該資料乃是經過聯合國與世界銀行合作委託聯合國大學世界發展經濟學研究院，於 2005 年所建立的聯合國所得不均度資料庫 (World Income Inequality Database V2.0a, WIID) 演進而來。此資料庫之優點不但蒐集了許多研究單位所計算的吉尼係數，且歸納了前述造成使用吉尼係數進行跨國比較之困難，並整理出每個吉尼係數在計算過程中之重要資料背景，使後進研究者可根據更周全的細部資料來選擇所需的所得分配數據 (World Institute for

Development Economics Research, 2007)。

在時間序列資料的篩選方面，首重一國調查方法之一致性，同樣需選用相同調查方法且資料年度最齊全的吉尼係數。然使用前述的標準來篩選資料，使得某些國家會產生局部的缺漏值，故本研究以該國最近一期之資料進行填補。選擇使用此種方法來進行資料填補的理由是，所得分配的變化是較緩慢且穩定的 (Aaron, 1978)，因而使用前一期或後一期的資料來填補缺漏值是可行的。此外，在進行資料篩選時，除了各國之時間序列資料的齊全程度必須考量外，對於政治情況變動較大的國家也有特殊之篩選，以使統計數據除了有完整性外尚有一致性¹。

多數的研究皆認為，人口密集度越高 (population density)，將會對環境帶來越高的壓力，且人口越多的地方人們花在交通運輸 (transport) 與相互交流 (communications) 的支出將會越多，使得人均 CO_2 排放量會越高 (Ravallion, *et al.*, 2000)。工業佔 GDP 之比例 (percentage manufacturing share of GDP) 的加入，可以反應出部門間的移轉對 CO_2 排放量之影響 (Grossman & Krueger, 1995; Borghesi, 2000)，也就是經濟發展對環境污染的合成效果 (composition effect)。因此，可以預期當工業佔一國之 GDP 之份額越高時，人均 CO_2 排放量將會越高。本文所使用之人口密度資料是由世界銀行取得，而工業佔 GDP 之比例，則是由聯合國取得工業以 1990 年物價指數平減後之產值資料，再與各國國內生產毛額以 1990 年物價指

¹ 其中政治情況變化較大的國家有：東西德於 1990 年統一，吉尼係數之計算方式也在 1990 年後才趨於一致，而二氧化碳之資料於 1991 年以前東西德是分開計算的，故使用 1990 以前之資料時，必須將東西德之資料予以加總。1991 年蘇聯瓦解成立陶宛、愛沙尼亞、拉托維亞、烏克蘭、俄羅斯、白俄羅斯、哈薩克、吉爾吉斯、亞塞拜然、喬治亞、烏茲別克、塔吉克、亞美尼亞、土庫曼、摩爾多瓦等 15 國，因此這些國家無論是 GDP、 CO_2 排放量或吉尼係數均在 1993 年以後才有資料，而 1993 年以前的資料均被合併算入蘇聯之下。1993 年捷克斯洛伐克聯邦共和國 (Czechoslovakia)，正式分裂成捷克與斯洛伐克獨立的兩國，兩國之個別資料於 1993 年以後才有。南北韓於第二次世界大戰後分裂，由於北韓為較封閉之共產國家，資料較不易取得，亦無詳細之家庭普查資料可供計算吉尼係數，因此本研究有關韓國的資料方面僅採用南韓之數據。

數平減之資料相除而得。

綜合本研究所需資料之特性，最後乃選用 1990 年至 2003 年 52 個國家共 728 筆資料的各相關變數進行分析。這 52 個國家之中，包括屬於『京都議定書』附件 B 但尚未承諾減量之美國及澳洲，其餘有 30 個國家為『京都議定書』附件 B 中已承諾減量之國家。而 52 個國家 2003 年之 CO_2 總排放量佔全球排放量的 80.37%，2003 年總人口數佔世界總人口數的 67.83%；若以 1990 至 2003 年的 14 年平均來看，此 52 國之 CO_2 排放量平均佔全世界之 80.47%，人口數則佔 69.29%。這些國家以涵蓋全世界相當比例的 CO_2 排放量，故有其代表性。

二、估計方法與函數設定

由於本研究使用結合 14 年時間序列與橫斷面 52 個國家之資料來進行分析，因此乃採用分析長期追蹤資料的固定效果模型（fixed effect, FE）與隨機效果模型（random effect, RE）來進行估計。

以下將分別建構未加入所得不均度、加入所得不均度以及加入所得不均度與所得之交叉項等三種實證模型，來瞭解有無考慮所得不均度對於 CO_2 與經濟發展間的影響差異。函數式乃分別使用所得一次（linear）、二次（quadratic）及三次方（cubic）的形式，以檢驗 CO_2 排放量與經濟發展間及所得分配不均度的關係。

三、未考慮所得不均度之模型設定

以下各模型除人口密度、所得水準與工業佔 GDP 比例外，另亦加入時間趨勢（time trend）來當做術進步的代理變數（proxy）²（Shafik, 1994; Ravallion, *et al.*, 2000）。

² Shafik（1994）提到雖然可使用時間趨勢來表現技術隨時間的進步，但此假設之缺點在於，時間趨勢包含其他外生變數的時間影響趨勢。

類型一

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 Dens_{it} + \beta_4 Manu_{it} + \beta_5 time + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 Dens_{it} + \beta_5 Manu_{it} + \beta_6 time + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 GDP_{it}^3 + \beta_5 Dens_{it} + \beta_6 Manu_{it} + \beta_7 time + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中 i 代表國家， t 為年份， CO_{2it} 即表示第 i 國在第 t 年之人均 CO_2 排放量， GDP_{it} 表示平均每人所得， $Dens_{it}$ 為 i 國在第 t 年之人口密度， $Manu_{it}$ 代表工業佔 GDP 之比例， $time$ 為時間趨勢變項， ε_{it} 為隨機誤差項。其中 β_{1i} 為第 i 個國家的個別差異。

四、加入所得不均度之模型設定

在此模型中，以 $Gini$ 係數來表示各國在 t 年時之所得分配的狀態，並假設所得與所得不均度無相互影響，先單獨將所得不均度加入方程式中，在所得一次，二次及三次方設定下的函數形式如下所示。

類型二

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 Dens_{it} + \beta_4 Manu_{it} + \beta_5 Gini_{it} + \beta_6 time + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 Dens_{it} + \beta_5 Manu_{it} + \beta_6 Gini_{it} + \beta_7 time + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$(CO_2)_{it} = \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 GDP_{it}^3 + \beta_5 Dens_{it} + \beta_6 Manu_{it} + \beta_7 Gini_{it} + \beta_8 time + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中 $Gini_{it}$ 代表 i 國於 t 年的 $Gini$ ，而其他變數定義皆與類型一相同。

在前述的推論中可以發現，經濟發展與所得不均衡具有密切的關係，因此，可進一步將所得與所得不均衡的相互關係納入估計式中，在所得一次，二次及三次方影響下的各函數式分別為

類型三

$$\begin{aligned} (CO_2)_{it} = & \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 Dens_{it} + \beta_4 Manu_{it} + \beta_5 Gini_{it} \\ & + \beta_6 Gini_{it} * GDP_{it} + \beta_7 time + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (CO_2)_{it} = & \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 Dens_{it} + \beta_5 Manu_{it} + \beta_6 Gini_{it} \\ & + \beta_7 Gini_{it} * GDP_{it} + \beta_8 time + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} (CO_2)_{it} = & \beta_{1i} + \beta_2 GDP_{it} + \beta_3 GDP_{it}^2 + \beta_4 GDP_{it}^3 + \beta_5 Dens_{it} + \beta_6 Manu_{it} \\ & + \beta_7 Gini_{it} + \beta_8 Gini_{it} * GDP_{it} + \beta_8 time + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

(7)、(8) 及 (9) 式中， $Gini_{it}$ 的係數值表示所得不均衡對 CO_2 的直接影響，所得不均衡與所得交叉項 $Gini_{it} * GDP_{it}$ 之係數，反應出所得增加影響所得不均衡與 CO_2 排放的間接影響。同時在類型三之關係下，所得不均衡對 CO_2 排放的影響方向並非是固定的；而此種非固定關係可由 (9) 式所得不均衡對 CO_2 排放之微分看出，可顯示出所得不均衡對 CO_2 排放的影響途徑，是同時受到所得不均衡的直接與間接影響，其微分式如下

$$\frac{\partial (CO_2)_{it}}{\partial Gini_{it}} = \beta_7 + \beta_8 GDP_{it} \quad (10)$$

由 (10) 式可以看出， CO_2 之排放量將隨所得水準而可能有不同的表現與影響。假使所得不均衡係數 β_7 ，與所得不均衡及所得交叉項係數 β_8 之符號為同向，表示所得增加會強化所得不均衡對 CO_2 排放量之影響，反之，則所得增加反而可能翻轉不均衡對 CO_2 排放量的影響方向。

肆、實證結果與分析

一、各模型估計結果

表 1 顯示，無論在前述所設定的 FE 或 RE 那一種模型，其 F 值的檢定結果與 LM 值之檢定結果均顯著，表示跨國間存在顯著的異質性。此外，根據 Hausman χ^2 的檢定也顯示 FE 模型優於 RE 模型。因此，本研究最後採用 FE 模型之估計結果做為後續分析之用，於是表 1 僅列出固定效果模型之估計結果。根據表 1 各模型調整後判定係數（adj R²）之結果，未考量所得不均度的類型一模型中，以所得二次式的解釋力較佳。

而加入不均度與所得互動的類型三模型，整體模型確實如預期中，呈現出理想的解釋能力，同時各係數也都至少在 10% 以上呈現顯著的表現，而其中由變數檢定亦支持得以選擇模型三中的 (10) 為最後分析之用。由 (10) 式的估計結果指出，所得不均度 (β_7) 與 CO₂ 排放量為顯著負向關係，表示所得分配越平均排放量也越大；但由於 CO₂ 排放量與所得不均度及所得之交叉項 (β_8) 為顯著正向關係，因而雖然所得不均度與 CO₂ 排放量為負向關係，但此種負向關係會隨著所得水準的增加而減少，顯示所得不均度與 CO₂ 排放量之關係並非固定不變，而是會受到所得水準的影響。進而利用 (10) 式可估算得，當人均所得高於 5,031.061 美元時，所得不均度與 CO₂ 排放量之關係，由原本的負向關係轉為正向關係，即所得不均度愈高則 CO₂ 排放量愈大，亦即此一所得水準為不均度對 CO₂ 排放量關係改變的一個分界水準。

最後，為了完整比對有無考量所得分配之影響，根據前述模型中之自變數的顯著性，及針對固定效果與隨機效果模型檢定的結果。對於考量所得不均度的模型，採類型三的三次方固定效果 (9) 式之估計結果，而未考量所得不均度的模型，則採類型一的三次方固定效果 (3) 式之估計結果，以進行後續排放減量比例重分配的模擬。

表 1：三種類型下之固定效果模型估計與檢定結果^a

變數	類型一之固定效果模型			類型二之固定效果模型			類型三之固定效果模型		
	一次	二次	三次	一次	二次	三次	一次	二次	三次
GDP	10.487 (8.62)	264.593*** (23.46)	289.540*** (44.32)	5.590 (8.78)	258.618*** (23.97)	278.127*** (45.46)	-113.216*** (18.46)	141.629*** (29.07)	207.609*** (45.09)
GDP ²	----- (0.41)	-4.702*** (0.41)	-5.830*** (1.75)	----- (0.41)	-4.630*** (0.41)	-5.501*** (1.77)	----- (0.40)	-4.353*** (0.40)	-7.588*** (1.74)
GDP ³	----- (0.02)	----- (0.02)	0.045** (0.02)	----- (0.02)	----- (0.02)	0.042** (0.02)	----- (0.02)	----- (0.02)	0.044** (0.02)
人口密度	9.309*** (1.65)	8.877*** (1.51)	8.691*** (1.54)	9.069*** (1.65)	8.781*** (1.51)	8.644*** (1.54)	9.038*** (1.59)	8.772*** (1.47)	8.260*** (1.49)
工業佔 GDP 份額	27.966*** (3.68)	16.853*** (3.50)	16.672*** (3.51)	25.727*** (3.76)	16.068*** (3.56)	15.975*** (3.57)	21.404*** (3.68)	12.940*** (3.48)	12.407*** (3.49)
Gini	----- (4.38)	----- (4.06)	----- (4.10)	-11.475*** (4.38)	-4.890 (4.06)	-4.609 (4.10)	-26.056*** (4.67)	-17.785*** (4.38)	-17.493*** (4.38)
Gini*GDP	----- (0.53)	----- (0.49)	----- (0.50)	----- (0.53)	----- (0.49)	----- (0.50)	3.831*** (0.53)	3.285*** (0.49)	3.477*** (0.50)
Time	-5.880 (4.03)	-21.352*** (3.92)	-21.546*** (3.93)	-2.905 (4.17)	-19.847*** (4.11)	-20.082*** (4.14)	-3.579 (4.02)	-19.411*** (3.99)	-20.265*** (4.00)
截距項	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Adj R ²	0.955	0.962	0.962	0.955	0.962	0.962	0.959	0.965	0.965
F 值	282.13	333.58	327.46	279.64	327.97	321.96	296.72	344.14	339.71
隨機效果之 Hausman χ^2	46.63	43.68	54.21	46.67	43.47	53.97	54.89	50.00	63.35

註 a：括號內為各估計係數之標準差；係數旁之標示*、**及***分別表示係數在 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。

二、納入所得不均度考量後各國二氧化碳減量比例的重新擬定

本研究的 52 個國家中，有 32 國是屬於『京都議定書』附件 B 的承諾減量國家，而 32 個國家所承諾 CO_2 之減量總額，約佔所有 38 國『京都議定書』附件 B 的承諾減量國家所承諾之 CO_2 減量總額的 99%，表示 32 個國家所承諾之 CO_2 減量總量包含了大部分已諾減量國之承諾減量總額³，因此將所得不均度納入經濟發展與 CO_2 排放量的關係中，所擬定出的 CO_2 重分配比例與未考量所得不均度影響前之減量比例的差異，將具有代表性。

由於各國二氧化碳排放量的增加，主要來自於持續提高所得水準所導致之後果，因此，重分配比例之配置則是以每一單位之平均每人所得之變動所導致二氧化碳排放的增加量做為考量基礎。依此，未考量所得不均度時，所得邊際排放傾向可估算如 (11) 式

$$\frac{\partial(CO_2)_i}{\partial GDP_i} = \beta_2 + 2\beta_3 GDP_i + 3\beta_4 GDP_i^2 = A \quad (11)$$

而考量所得不均度後，所得邊際排放傾向則估算如 (12) 式

$$\frac{\partial(CO_2)_i}{\partial GDP_i} = \beta_2 + 2\beta_3 GDP_i + 3\beta_4 GDP_i^2 + \beta_8 Gini_i = B \quad (12)$$

假設由 (11) 式為所求得之未考量所得不均度下的所得邊際排放傾向 A，而考量所得不均度後，即 (12) 式所得到之所得邊際排放傾向為 B。進一步計算在未考量所得不均度與將所得不均度納入考量後，來自特定國家之所得邊際排放傾向所佔比例之變動幅度。並依未考量不均度與考量不均度，以 α 與 β 做為區別，詳細的計算的方式如 (13) 式與 (14) 式所示。

³ 不包括在本研究分析對象而屬京都議定書附件 B 承諾減量之國家，尚包含克羅地亞 (Croatia)、冰島 (Iceland)、列支敦士登 (Liechtenstein)、摩納哥 (Monaco)、瑞士 (Switzerland)、紐西蘭 (New Zealand) 等六國。這些國家因資料缺漏不完整故無法納入分析之中。

$$\left[\frac{\frac{\partial CO_2}{\partial GDP_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial CO_2}{\partial GDP_i} \right)} \right]_{\text{未考量所得不均度}} = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \alpha \quad (13)$$

$$\left[\frac{\frac{\partial CO_2}{\partial GDP_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial CO_2}{\partial GDP_i} \right)} \right]_{\text{考量所得不均度}} = \frac{B_i}{\sum_{i=1}^n B_i} = \beta \quad (14)$$

(13) 式中 i 表示國家數目， A_i 代表未考量所得不均度下之各國所得邊際排放傾向， $\sum_{i=1}^n A_i$ 為未考量所得不均度時各國所得邊際排放傾向之總和。同樣的，(14) 式中， B_i 代表考量所得不均度後各國之所得邊際排放傾向， $\sum_{i=1}^n B_i$ 為考量所得不均度下各國所得邊際排放傾向之總和。

根據前述之推論，在低所得的國家，不均度的提升意味著維生所需的經濟發展所帶來之產業結構變動結果；反之，在高所得國家已具備基礎維生能力的前提下，在發展過程顧及環境保護與社會結構之完整， CO_2 減量乃是應盡的責任。因此，所得高低不同的國家，在考量所得不均度的重分配機制上，也應有不同的處理方式。

而目前『京都議定書』所擬定之減量標準，基本上是以各國所得水準做為主要的考量因素，因此，依前述高低所得不均度對不同所得水準國家影響概念的討論可知，可將 $(\beta - \alpha)$ 視為納入所得不均度後對 CO_2 排放的影響後，應增減分配變化之比例，如此將可建構出 (15) 式來做為調整各國 CO_2 減量比例的配額

$$i \text{ 國原先所承諾減量之百分比} \pm (\beta - \alpha) \quad (15)$$

(15) 式表示在邊際排放傾向為正的情況下，即 β 為正的情況下，如果採用原先所承諾之減量百分比再加上 $(\beta - \alpha)$ ，代表將賦予較高所得水準且所

得水準分配較不均的國家較大之減量比例；以促使這些國家在提升所得水準的同時，應更加在相對高的所得水準下，有更多的責任兼顧二氧化碳排放的控管。反之，對於低所得水準而分配不均的國家，則由原先所承諾之減量比例減少 $(\beta - \alpha)$ ，則表示考量了所得分配的不均度後，而將多一些責任賦予同樣的低所得水準但所得分配相對平均的國家，相對較多的減量責任。如果以所得高低及所得不均度大小兩個面向為分野，目前各國已承諾的減量比例，或新參與承諾減量國家由特定減量比例開始，其增減變化後的關係可彙整如表 2 所示。

表 2：所得水準與所得不均度不同組合下
應承諾減量的增減變動

所得水準	所得不均度	
	高	低
高	↑	↓
低	↓	↑

三、依高低所得國家進行減量比例之重分配

根據實證結果得知，所得不均度與 CO_2 排放量之關係會依所得之不同而形成一個分界，也就是當平均每人每年所得高於 5,031.061 美元時，不均度與 CO_2 排放量關係會由原來的負向轉為正向關係。因此，在擬定新的分配標準時，如果將 32 個國家依其 14 年之平均每人所得以 5,031.061 美元為界，分成高所得與低所得國家群組，同樣依據 (15) 式計算出的 $(\beta - \alpha)$ 而給予高低所得國家不同的再分配處理方式，其中低所得群中有 11 個國家，而高所得群中則共有 21 個國家。

依此算出的減量比例及減量總量如表 3 與表 4。由表 3 可發現被歸類為低所得的 11 個國家中，所得不均度明顯較高的如保加利亞等 6 個國家

之平均 *Gini* 為 36.62，經過重分配後，這些所得分配較不平均的國家所必須承擔之減量責任會較原本來得低。反之，由表 4 可發現在高所得國家的部分，澳大利亞等 12 個國家是在這一群國家中屬於所得分配相對平均的國家，其平均 *Gini* 為 27.46，而另外 9 個同等級人均所得水準的國家，平均 *Gini* 為 34.26，而表 4 的結果大致是呈現出這一群所得不均度較大的國家，所應承擔之減量責任則較原先所承諾之減量額度來得高之現象。

表 3：低所得國家之二氧化碳重分配與原始分配比例及減量之比較

國 家	吉尼係數	原 1990 年 排放水準 (公噸)	原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)	重分配後應減 總量變化值 (公噸)
保加利亞	34.82	20,562,000	8%	7.71%	1,585,330.2	-59,629.8
捷 克	26.19	36,948,000	8%	8.76%	3,236,644.8	280,804.8
愛沙尼亞	38.53	6,787,000	8%	7.38%	500,880.6	-42,079.4
匈 牙 利	24.51	16,406,000	6%	6.92%	1,135,295.2	150,935.2
拉托維亞	33.13	3,474,000	8%	7.93%	275,488.2	-2,431.8
立 陶 宛	32.64	5,829,000	8%	7.96%	463,988.4	-2,331.6
波 蘭	32.14	94,865,000	6%	6.00%	5,691,900.0	0.0
羅馬尼亞	28.51	42,323,000	8%	8.38%	3,546,667.4	160,827.4
俄 羅 斯	43.24	541,492,000	0%	-1.18%	-6,389,605.6	-6,389,605.6
斯洛伐克	25.46	11,752,000	8%	8.79%	1,033,000.8	92,840.8
烏 克 蘭	37.37	163,760,000	0%	-0.65%	-1,064,440.0	-1,064,440.0
總 和		944,198,000	68%	68.00%	10,015,150.0	-6,875,110.0

表 4：高所得國家之二氧化碳重分配與原始分配比例及減量之比較

國 家	吉尼係數	原 1990 年 排放水準 (公噸)	原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)	重分配後應減 總量變化值 (公噸)
澳大利亞	30.32	74,299,000	-8%	-8.21%	-6,099,947.9	-156,027.9
奧 地 利	25.26	15,749,000	8%	6.20%	976,438.0	-283,482.0
比 利 時	29.34	27,459,000	8%	7.40%	2,031,966.0	-164,754.0
加 拿 大	29.29	113,488,000	6%	5.33%	6,048,910.4	-760,369.6
丹 麥	34.49	13,580,000	8%	8.54%	1,159,732.0	73,332.0
芬 蘭	22.98	13,980,000	8%	5.40%	754,920.0	-363,480.0
法 國	29.30	98,919,000	8%	7.42%	7,339,789.8	-573,730.2
德 國	26.61	267,615,000	8%	6.56%	17,555,544.0	-3,853,656.0
希 臘	34.29	19,712,000	8%	10.77%	2,122,982.4	546,022.4
愛 爾 蘭	32.13	8,357,000	8%	8.48%	708,673.6	40,113.6
義 大 利	33.73	106,339,000	8%	8.69%	9,240,859.1	733,739.1
日 本	31.56	292,212,000	6%	5.73%	16,743,747.6	-788,972.4
盧 森 堡	27.55	2,701,000	8%	7.25%	195,822.5	-20,257.5
荷 蘭	25.46	38,125,000	8%	6.30%	2,401,875.0	-648,125.0
挪 威	27.27	9,633,000	-1%	-2.33%	-224,448.9	-128,118.9
葡 萄 牙	37.07	11,552,000	8%	11.82%	1,365,446.4	441,286.4
西 班 牙	32.75	57,814,000	8%	9.22%	5,330,450.8	705,330.8
瑞 典	24.57	13,498,000	8%	5.81%	784,233.8	-295,606.2
斯洛維尼亞	25.14	3,361,000	8%	8.36%	280,979.6	12,099.6
英 國	33.76	155,375,000	8%	8.85%	13,750,687.5	1,320,687.5
美 國	44.99	1,314,813,000	7%	10.41%	136,872,033.3	44,835,123.3
總 和	637.87	2,658,581,000	138%	138.00%	219,340,695.0	40,671,155.0

表 5：低所得國家之二氧化碳重分配與原始分配比例
及減量之比較——納入印度與中國

國 家	吉尼 係數	新加入國以減至目前承諾減量國 平均減量比例為標準			新加入國以減至 1990 年 之排放水準為標準		
		原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)	原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)
保加利亞	34.82	8.0%	7.84%	1,612,060.8	8%	7.84%	1,612,060.8
捷 克	26.19	8.0%	8.69%	3,210,781.2	8%	8.69%	3,210,781.2
愛沙尼亞	38.53	8.0%	7.56%	513,097.2	8%	7.56%	513,097.2
匈 牙 利	24.51	6.0%	6.83%	1,120,529.8	6%	6.83%	1,120,529.8
拉托維亞	33.13	8.0%	8.01%	278,267.4	8%	8.01%	278,267.4
立 陶 宛	32.64	8.0%	8.04%	468,651.6	8%	8.04%	468,651.6
波 蘭	32.14	6.0%	6.08%	5,767,792.0	6%	6.08%	5,767,792.0
羅馬尼亞	28.51	8.0%	8.39%	3,550,899.7	8%	8.39%	3,550,899.7
俄 羅 斯	43.24	0.0%	-0.90%	-4,873,428.0	0%	-0.90%	-4,873,428.0
斯洛伐克	25.46	8.0%	8.73%	1,025,949.6	8%	8.73%	1,025,949.6
烏 克 蘭	37.37	0.0%	-0.46%	-753,296.0	0%	-0.46%	-753,296.0
印 度	33.11	5.2%	5.10%	9,435,816.0	0%	-0.10%	-185,016.0
中 國	39.77	5.2%	4.50%	29,461,950.0	0%	-0.70%	-4,582,970.0
總 和	429.43	78.4%	78.40%	50,819,071.3	68%	67.99%	7,153,319.3

四、將印度、中國、南韓與台灣一併納入考量之減量比例重分配

在前述重分配架構下，亦嘗試將最具爭議性之 CO_2 排放大國印度、中國與未簽署『京都議定書』之台灣，及與台灣同為亞洲四小龍之一、且經常為台灣的對照國—南韓，一併納入重分配的考量行列。如果依前述的分

類方式，將所得低於每人每年 5,031.061 美元的中國與印度，由 0% 的基礎減去 $(\beta - \alpha)$ ，而南韓與台灣則由 0% 的基礎加上 $(\beta - \alpha)$ ，做為這些國家承諾減量的比例，如表 5 所示，則低所得國家的中國與印度，可以分別享有比 1990 年或是目前世界平均減量比例之 5.2% 多排放 0.70% 及 0.10%。此外，表 6 顯示，台灣被歸屬於高所得國家群時，則無法享有比 1990 年或是目前世界平均減量比例之 5.2% 較高的排放水準，反而需減少 0.99%，南韓需減少的比例更高達 2.04%。

在前述各種不同的重分配準則下，可以進一步彙整全體參與減量國家，在不同的比例分配下可以達成的減量總額，如表 7 所示。如果 32 個國家在原承諾減量比例下所能達的 195,559,800 公噸之減量總額是一個最起碼的目標，則將 32 個國家依高低所得同時在考量所得不均度的機制下進行重分配，將使得減量總額明顯提高許多，明顯的有助於全世界達成更多 CO_2 的減量。而加入台灣、南韓、中國與印度這些目前尚未有任何減量承諾的國家，並依高低所得將國家分群，同時也是在考量所得不均度的機制下重新進行分配，加入了四個國家共同承擔起減量的責任，很明顯的，全世界必然會有更多的 CO_2 減量。如果理想狀況是可以一開始就要求新加入的四個國家有如目前已承諾國家的減量平均值，即 5.2% 為出發，將可以得到允許這些國家由目前的 0% 水準開始更多之 CO_2 的減量。而新加入這四個簽署國，不論是要要求新加入的四個國家以何減量比例為基準，原已簽署的 32 個國家在考量所得不均度的新分機制之下，均可以減少更多 CO_2 的排放量。表示考量所得不均度的分配機制，在不同的情境下，均有助於 CO_2 的減量。

表 6：高所得國家之二氧化碳重分配與原始分配比例及減量之比較
——納入南韓與台灣

國 家	吉尼 係數	新加入國以減至目前承諾減量 國平均減量比例為標準			新加入國以減至 1990 年之排放 水準為標準		
		原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)	原分配應 減百分比	重分配應 減百分比	重分配後 應減總量 (公噸)
澳大利亞	30.32	-8.0%	-8.33%	-6,189,106.7	-8%	-8.33%	-6,189,106.7
奧 地 利	25.26	8.0%	6.50%	1,023,685.0	8%	6.50%	1,023,685.0
比 利 時	29.34	8.0%	7.39%	2,029,220.1	8%	7.39%	2,029,220.1
加 拿 大	29.29	6.0%	5.36%	6,082,956.8	6%	5.36%	6,082,956.8
丹 麥	34.49	8.0%	8.37%	1,136,646.0	8%	8.37%	1,136,646.0
芬 蘭	22.98	8.0%	5.96%	833,208.0	8%	5.96%	833,208.0
法 國	29.30	8.0%	7.41%	7,329,897.9	8%	7.41%	7,329,897.9
德 國	26.61	8.0%	6.78%	18,144,297.0	8%	6.78%	18,144,297.0
希 臘	34.29	8.0%	9.72%	1,916,006.4	8%	9.72%	1,916,006.4
愛 爾 蘭	32.13	8.0%	8.16%	681,931.2	8%	8.16%	681,931.2
義 大 利	33.73	8.0%	8.36%	8,889,940.4	8%	8.36%	8,889,940.4
日 本	31.56	6.0%	5.78%	16,889,853.6	6%	5.78%	16,889,853.6
盧 森 堡	27.55	8.0%	7.58%	204,735.8	8%	7.58%	204,735.8
荷 蘭	25.46	8.0%	6.57%	2,504,812.5	8%	6.57%	2,504,812.5
挪 威	27.27	-1.0%	-1.96%	-188,806.8	-1%	-1.96%	-188,806.8
葡 萄 牙	37.07	8.0%	10.49%	1,211,804.8	8%	10.49%	1,211,804.8
西 班 牙	32.75	8.0%	8.65%	5,000,911.0	8%	8.65%	5,000,911.0
瑞 典	24.57	8.0%	6.30%	850,374.0	8%	6.30%	850,374.0
斯洛維尼亞	25.14	8.0%	7.87%	264,510.7	8%	7.87%	264,510.7
英 國	33.76	8.0%	8.46%	13,144,725.0	8%	8.46%	13,144,725.0
美 國	44.99	7.0%	9.57%	125,827,604.1	7%	9.57%	125,827,604.1
南 韓	34.79	5.2%	7.24%	4,765,657.6	0%	2.04%	1,342,809.6
臺 灣	32.05	5.2%	6.19%	2,102,309.7	0%	0.99%	336,233.7
總 和		148.4%	148.40%	214,457,174.1	138%	138.00%	209,268,250.1

表 7：『京都議定書』減量承諾國家在各種重分配準則下
二氧化碳減量總額之比較

單位：公噸

32 國 ⁴	
遵循原始承諾比例可達成之減量總額	195,559,800.0
依重分配準則達成的減量總額	229,355,845.0
36 國 ⁵	
新加入國以 5.2% 為原始基準而全部 36 國依重分配準則達成的減量總額	265,276,245.4
新加入國以 0.0% 為原始基準而全部 36 國依重分配準則達成的減量總額	217,421,569.4
原已簽訂承諾減量的 32 國在新加入國以 5.2% 為基準之重分配後的減量總額	224,699,435.0
原已簽訂承諾減量的 32 國在新加入國以 0.0% 為基準之重分配後的減量總額	213,332,626.7

伍、結語

本研究將所得不均度納入經濟發展與 CO_2 排放量關係中，結果發現所得不均度對 CO_2 排放量的影響方向，會隨著不同經濟發展階段而改變，顯示所得不均度在不同經濟發展階段扮演著不同的角色，因而對於因應 CO_2 排放減量也有不同的啓示。

此一結果驗證了，如果一併將所得水準與所得不均度納入做為擬定『京都議定書』附件 B 中各簽署承諾減量國承諾減量比例之考量，並於重分配時賦予高所得但所得不均度大的國家較高的減量比例以警惕，並促使其更

⁴ 為未包含克羅地亞、冰島、列支敦士登、摩納哥、瑞士、紐西蘭等六國之餘下屬『京都議定書』附件 B 承諾減量之國家。

⁵ 為註 4 所包含之 32 國再加上台灣、南韓、中國與印度四國。

加積極規劃與實行適當的減量措施；而對低所得且所得不均度較大的國家，則考量所得不均度會影響其實施減量措施的應變能力而予以降低減量責任，則在依此準則下所得到的重分配結果，高所得且高所得分配不均及低所得且低所得分配不均的國家，將在新分配考量下而有較多的減量比例，反之，高所得而低所得分配不均及低所得而高所得分配不均的國家，則對應的有較少的減量比例。

進一步將中國、印度、南韓與台灣納入本文所研擬的減量比例重新分配之行列時可以發現，台灣在面對此一減量標準的擬定下，如果未來被要求一開始就要達到現在減量承諾國的平均減量水準，如此將要由目前平均的 5.2% 減量比例提高至 6.19%；反之，如果我們可以被優惠一進入減量承諾國，只要達到 1990 年的排放水準，也就是由 0.00% 的減量比例開始，在本研究所模擬考量所得水準與所得不均度的情境下，則必需增加 0.99% 的減量比例。

最後，在此重分配原則下，原來已簽署承諾減量的 32 個『京都議定書』國家，或是加入台灣、南韓、中國、與印度之後，同樣的這些已簽署承諾減量的 32 個國家，所可以達成的 CO_2 總排放減量，將會大於原來只以所得水準為考量而做出的減量分配下的減量總額。此顯示出同時考量所得水準與所得不均度對 CO_2 排放減量比例之擬訂，有助於加速全世界 CO_2 排放減量目標的達成。

參考書目

- Socolow, R. H., and S. W. Pacala (吳鴻譯)。2006。〈控管碳排放 15 對策〉(Strategy: A Plan to Keep Carbon in Check)《科學人》56 期，頁 54-61。
- 行政院主計處。2005。《國民所得統計年報》。台北：行政院主計處 (<http://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=17779&ctNode=3565>) (2007/3/18)。
- Aaron, H. J. 1978. *Politics and the Professors: The Great Society in Perspective*. Washington, D. C.: The Brookings Institute.
- Aghion, P., E. Caroli, and C. Garcia-Penalosa. 1999. "Inequality and Economic Growth: the Perspective of the New Growth Theories." *Journal of Economic Literature*, Vol. 37, No. 4, pp. 1615-60.
- Böhringer, C. 2003. "The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives." *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 19, No. 3, pp. 451-66.
- Borghesi, S. 2000. "Income Inequality and the Environmental Kuznets Curve." Fondazione Eni Enrico Mattei. Working paper (<http://www.feem.it/NR/rdonlyres/BD174684-A396-4266-A893-603D12BA30A4/109/8300.pdf>) (2007/4/14).
- Boyce, J. K. 1994. "Inequality as a Cause of Environmental Degradation." *Ecological Economics*, Vol. 11, No. 3, pp. 169-78.
- Brandt, U. S., 2003. "Are Uniform Solutions Focal? The Case of International Environmental Agreements." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 25, No. 3, pp. 357-76.
- Deininger, K., and L. Squire. 1996. "A New Data Set Measuring Income Inequality." *World Bank Economic Review*, Vol. 10, No. 3, pp. 565-91.
- Dijkgraaf, E., and H. R. J. Vollebergh. 2005. "A Test for Parameter Heterogeneity in CO_2 Panel EKC Estimations." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 32, No. 2, pp. 229-39.
- Duro, J. A., and E. Padilla. 2006. "International Inequalities in Per Capita CO_2 Emissions: A Decomposition Methodology by Kaya Factors." *Energy Economics*, Vol. 28, No. 2, pp. 170-87.
- Glazer, A., and K. A. Konrad. 1996. "A Signaling Explanation for Charity." *American Economic Review*, Vol. 86, No. 4, pp. 1019-28.
- Grossman, G. M., and A. B. Krueger. 1995. "Economic Growth and the Environment."

- Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, No. 2, pp. 353-77.
- Hamilton, K., and C. Cameron. 1994. "Simulating the Distributional Effects of a Carbon Tax." *Canadian Public Policy*, Vol. 20, No. 4, pp. 385-99.
- Heerink, N., A. Mulatu, and E. Bulte. 2001. "Income Inequality and the Environment: Aggregation Bias in Environmental Kuznets Curves." *Ecological Economics*, Vol. 38, No. 3, pp. 359-67.
- Heil, M. T., and T. M. Selden. 2001. "Carbon Emissions and Economic Development Future Trajectories based on Historical Experience." *Environment and Development Economics*, Vol. 6, No. 1, pp. 63-83.
- Helpman, E., ed. 1997. *General Purpose Technologies and Economic Growth*. Cambridge, Mass.: MIT Press. cited by R. J. Barro. 2000. "Inequality and Growth in a Panel of Countries." *Journal of Economic Growth*, Vol. 5, No. 1, pp. 5-32.
- Hill, R. J., and E. Magnani. 2002. "An Exploration of the Conceptual and Empirical Basis of the Environmental Kuznets Curves." *Australian Economic Papers*, Vol. 41, No. 2, pp. 239-54.
- Knowles, S. 2001. "Inequality and Economic Growth: The Empirical Relationship Reconsidered in the Light of Comparable Data." (<http://www.nottingham.ac.uk/economics/credit/research/papers/cp.01.03.pdf>) (2004/12/15)
- Lindmark, M. 2002. "An EKC-Pattern in Historical Perspective: Carbon Dioxide Emissions, Technology, Fuel Pieces and Growth in Sweden." *Ecological Economics*, Vol. 42, No. 2, pp. 333-47.
- Magnani, E. 2000. "The Environmental Kuznets Curve, Environmental Protection Policy and Income Distribution." *Ecological Economics*, Vol. 32, No. 3, pp. 431-43.
- Marland, G., T. A. Boden, and R. J. Andres. 2006. "Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions," in *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Oak Ridge, TN: Carbon Dioxide Information Analysis Center (http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/em_cont.htm) (2006/10/27).
- Marsiliani, L., and T. I. Renström. 2002. "Inequality, Environmental Protection and Growth." Working Paper No. 35 (http://www.wallis.rochester.edu/WallisPapers/wallis_35.pdf) (2007/3/9).
- Nordhaus, W. D. 2001. "After Kyoto: Alternative Mechanisms to Control Global Warming." Paper presented at the 20th Anniversary Meeting of the International Energy Workshop, IIASA, Laxenburg, Austria, June 21 (http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage?postKyoto_v4.pdf) (2007/12/15).

- Ravallion, M., M. Heil, and J. Jalan. 2000. "Carbon Emissions and Income Inequality." *Oxford Economic Papers*, Vol. 52, No. 4, pp. 651-69.
- Scruggs, L. A. 1998. "Political and Economic Inequality and the Environment." *Ecological Economics*, Vol. 26, No. 3, pp. 259-75.
- Shafik, N. 1994. "Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis." *Oxford Economic Papers*, Vol. 46, No. 0, pp. 757-73.
- Smith, S. 1994. "Who Pays for Climate Change Policies? Distributional Side-Effects and Policy Responses." Paper Presented at the Economics of Climate Change: Proceedings of an OECD/IEA Conference, Paris, January 10.
- Strazicich, M. C., and J. A. List. 2003. "Are CO₂ Emission Levels Converging among Industrial Countries?" *Environmental and Resource Economics*, Vol. 23, No. 3, pp. 263-71.
- Torras, M., and J. K. Boyce. 1998. "Income, Inequality, and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve." *Ecological Economics*, Vol. 25, No. 2, pp. 147-60.
- United Nations Statistics Division. 2006. "GDP and Its Breakdown at Constant 1990 Prices in US Dollars." (<http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnllist.asp>) (2006/10/16)
- World Bank. 2005. *Human Development Report*. New York: Oxford University Press.
- World Institute for Development Economics Research. 2007. "World Income Inequality Database." (<http://website1.wider.unu.edu/wiid/wiid.htm>) (2007/8/25)

Impacts of Income Inequality on the Emission Reduction Commitments of Carbon Dioxide: Post Kyoto Implication

Pei-Ing Wu

*Professor, Department of Agricultural Economics
National Taiwan University, Taipei, Taiwan*

Ya-Chi Huang

*Associate Research, Industrial Economics & Knowledge Center
Industrial Technology Research Institute, Hsin Chu, Taiwan*

Li-Ming Wu

*Master Graduated Student, Department of Agricultural Economics
National Taiwan University, Hsin Chu, Taiwan*

Je-Liang Liou

*Ph. D. Candidate, Department of Agricultural Economics
National Taiwan University, Taipei, Taiwan*

Abstract

To design an appropriate allocation criterion for CO_2 emission reduction commitments, this paper not only accounts for the level of income but also the income inequality of the country. Data of 52 countries in 1990-2003, including 32 committed emission reduction countries in Annex B of Kyoto Protocol and four non-committed emission countries, i.e. Taiwan, South Korea, China, and India, are employed for analyses. The results demonstrate that the reduction percentage for Taiwan will increase from the current world average of 5.2% to 6.9% or from 0.0% to 0.99%. The total CO_2 emission reductions that the current reduction commitment countries generate are higher than those without these four countries as long as the income inequality is taken into account. The accomplishment of the CO_2 emission reductions of the world is thus much easier to achieve while income inequality is accounted for.

Keywords: panel data, environmental Kuznets curve, Gini coefficient, marginal propensity to emit, *Kyoto Protocol*, annex B countries