

跨國 CO₂ 排放交易機制初始總量分配之檢視

—不同公平準則下個別國家與世界整體之衝突與調和

劉哲良*、吳珮瑛**

本文之目的首先在建構涵蓋公平性原則的一般化跨國初始排放權分配及交易模式，進行跨國參與排放權交易前後總減量成本模擬分析。同時比較有無參與排放權交易之總減量成本的差異，檢視符合世界整體利益之公平性原則，與站在各發展群組國家觀點下，所採用的公平性原則之異同。而此一模擬過程也分析美國、中國與印度，個別國家與世界立場之差異。

結果顯示，站在世界整體的立場，「污染者付費模式」將帶來最多的成本節省，預期使得排放交易機制之實施遭遇較小的阻礙。依此，在實施排放權交易後，唯有中高與中低發展群組國家所決定的「污染者付費分配模式」公平準則，是與站在世界整體的立場一致。而以相同方式觀察美國、中國與印度，在世界整體觀點下所採用的「污染者付費分配模式」，與站在此三國各別立場是完全不一致的，因而要促使此三國參與排放交易機制，相對而言將較為困難。

關鍵詞：方向性距離函數、平等主義、國家主權、償付能力、污染者付費、溫室氣體發展權利架構

* 國立台灣大學農業經濟學系博士。

** 國立台灣大學農業經濟學系教授。本文的通訊作者。

本研究承蒙行政院國家科學委員研究計畫 NSC 98-2410-H-002-056 之經費補助，及兩位匿名審查人所提供的寶貴意見，然文中如仍有任何錯誤，完全為作者之責。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 15:2 (2010), 133-181。

臺灣農村經濟學會出版

I、前言

爲了減緩因過度排放溫室氣體 (Greenhouse Gas, 以下簡稱 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, 以下簡稱 UNFCCC), 針對溫室氣體之排放訂定相關的管制與規範。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 年的第一減量時期 (註 1), 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。其中由於二氧化碳 (Carbon Dioxide, 以下簡稱 CO₂) 所佔的比例最大, 因此後續各國的管制重點, 多聚焦於如何減少 CO₂ 的總排放量上。

排放交易機制 (Emission Trading) 是一種以市場機能爲基礎的污染排放總量之政策工具, 目前已廣泛的應用於一國之內的空氣污染、水資源、土地使用, 及其他自然資源之管理上 (Krupnick *et al.*, 1983; Titenberg, 1985)。文獻上曾證明利用排放權交易市場的方法來控制排放污染物, 是一種可以達到成本有效性 (Cost-Effectiveness) 的政策工具, 亦即在排放權交易制度下, 整體排放交易市場可以用最低的成本總和來達到主管機關所制定之環境品質標準 (Montgomery, 1972); 且各污染者之均衡污染量與其原始污染許可權配額量之間是相互獨立的, 也就是說, 最初污染許可權的分配並不會影響最終污染者的均衡污染量 (Coase, 1960)。而當交易範疇由單國內的產業擴展至跨國時, 部分研究更指出, 爲達特定目標所需付出的總成本節省, 將更甚於僅於單國之內 (Cramton & Kerr, 2002; Dinan & Rogers, 2002; Kuik, 2003; Klepper & Peterson, 2004; Parry, 2004; Pizer *et al.*, 2006)。

由於排放交易制度具有上述特點, 因此也成爲京都議定書裡所建議用來控制跨國 CO₂ 排放總量的工具之一。雖然藉由排放交易機制之採用, 可以使

所有參與排放交易國之成本總和為最低，但就各別國家而言，初始排放權利（Initial Right）的分配將左右各國最後的總減量成本，進而影響交易國家的福祉，因此如何分配國與國之間的初始排放權利，則成為實際採行跨國性排放交易制度備受爭議之問題。

就現行京都議定書所規範的減量目標，是一種屬於單一形式的承諾（Single Type Commitment），亦即要求答應加入承諾的各國要在規定的時間內，將國內的總排放量減少到選定基期年的某一特定比例，因而，在各國確定需承擔的減量比例後，與選定之基期年排放量比較，將能決定初始擁有的可排放分配量。然而，對於京都議定書所決議的結果，由於一方面無法涵蓋所有的國家，一方面責任分配所依據的準則過於簡化、忽略了各國整體條件不相同的事實，再加上決議結果多受到政治談判力（Bargaining Power）之影響，因而許多國家認為存在「公平性」（Equity）的爭議，而不願在此問題改善之前加入承諾減量行列，這也使得要求世界各國共同負擔減量責任的原意受到扭曲，進而影響世界總合的減量效率（Ott, 1998；Haites & Yamin, 2000；Shogren & Toman, 2000；Yohe、Montgomery & Balistreri, 2000；Fletcher, 2001；Victor, 2001；Agarwal & Narian, 2002）。

由於排放總量初始分配制度的設計是否合理反映公平性，乃是後京都重新議定減量分配目標是否能夠順利達成，以及吸引目前未參與承諾減量國家——特別是一些排放大國如美國、印度、中國等——加入承諾減量行列的決定性因素。因此相關文獻也針對這個主題做了深入的討論，並藉由分析比較各國所建議的不同排放分配原則，凝聚數個符合跨國排放分配制度公平性精神之代表原則（Rose *et al.*, 1998；Berk & den Elzen, 2001；Ringius *et al.*, 2002；Höhne *et al.*, 2003）。除此之外，亦有部分文獻依切入角度之異同，分別以「應減量」或是「允許排放量」為標的，輔以模擬分析的方式，著重於討論如何設計出對應各種公平性原則之分配操作模式（Rose *et al.*, 1998；Miketa & Schrattenholzer, 2006）。

目前相關文獻雖已凝聚出數種公平性內涵原則，但各原則之間孰優孰劣，仍缺乏判斷的準則，因此結論仍莫衷一是。一般而言，承諾減量需付出多少代價將是各國最關心的問題。在不同的初始排放權利分配下，由於排放交易制度之實施，預期能為各國節省程度不一的排放總減量成本，因此將得以用來檢視各國對採用特定公平性原則之傾向。亦即，配合排放權交易制度，在對應各種不同的公平性原則，將能夠模擬計算出世界及各國的總減量成本。就世界整體觀點而言，能夠為世界在交易前後節省最多總減量成本所對應的公平性原則，預期能夠使排放交易機制之實施遭遇較小的阻礙。此外，若由個別國家觀點來看，能為各國帶來最低之總減量成本所對應的公平性原則，也預期能夠為多數國家所接受，而使這些國家加入承諾減量的行列（Rose *et al.*, 1998；Berk & den Elzen, 2001；Ringius *et al.*, 2002；Höhne *et al.*, 2003）。

職是之故，為了填補文獻發展至今的缺口，並對此議題增添新的貢獻。本文首先建構出一個一般化跨國初始排放權分配及交易模式，並採用 57 個國家、橫跨 1990 到 2005 年的長期追蹤資料（Panel Data），配合由文獻歸納所得到的平等主義（Egalitarian）、國家主權（Sovereignty）、償付能力（Ability to Pay）、污染者付費（Polluter Pay）與溫室氣體發展權利架構（Greenhouse Development Rights Framework，以下簡稱 GDR）等初始排放權利分配模式，進行世界整體與不同經濟發展程度國家群組之減量成本模擬。根據此一模擬結果，以檢視符合世界整體利益之公平性原則，與站在各發展群組國家觀點所偏好的公平性原則之異同，並藉此結論出不同發展群組國家於未來參與世界減量行列之傾向。最後，同樣的模擬過程亦分析美國、中國與印度等三個累積排放量相當高、而經濟發展懸殊各異的國家，以進一步檢視此三國於未來參與世界排放減量行列之傾向。

II、公平原則內涵與其在排放分配議題應用上之發展

未簽署京都議定書的國家裡，主要包含了大部分的開發中國家，與少部分的已開發國家。這些國家不加入減量行列的理由，所持的觀點各不相同；但歸結來說，主要是圍繞著公平性議題各自表述。舉例而言，對於部分已開發國家—如美國—認為並非所有國家都同意承諾減量，特別是累積排放量也是很大的中國，就不是簽署國，因此，這對於簽署者即是一種不公平，因而不願加入減量的行列。

另一方面，一些未加入的開發中國家則是認為目前擁有較高生活水準的國家，多半都是經歷過工業化大量使用石化燃料做為能源來源之歷程，其較高的溫室氣體累積排放量，也是造成目前氣候變遷最主要的成因；換言之，這些國家也是全球氣候暖化最主要的共同肇因者。若強勢要求開發程度較低的國家於近期承諾減量，這無疑是要求這些國家去為真正的肇因者共同承擔不屬於他們的責任。此外，在 CO₂ 的排放與經濟發展存在抵換關係之前提下，也將進一步剝奪這些國家藉由經濟發展提升生活品質的機會；也因此，大部分仍著重經濟發展的開發中國家，基於上述公平性理由而不願承諾減量。然而，隨著日益頻繁的跨國談判，這些未簽署國家在國際壓力下，對於原本堅持的立場開始有了轉變。簡單來說，即認為若能在初始排放權利之分配上兼顧到公平性，這些國家也願意加入減量的行列。因此，找出一個合乎公平性初始排放權利之分配方式，也就成了此領域後續文獻研究的焦點（Ott, 1998；Haites & Yamin, 2000；Shogren & Toman, 2000；Yohe、Montgomery & Balistreri, 2000；Fletcher, 2001；Victor, 2001；Agarwal & Narian, 2002）。

而這些相關的文獻，依著重的焦點不同可分成二類，第一類的研究多半先參考現存的排放權市場，以其分配機制做為出發點，著重於修正分配機制

因子的提出；比如，相關研究認為國與國之間的初始排放權分配，除了以過去的歷史排放水準為依據外，也可加入代表各國經濟發展水準的國民生產毛額（Gross Domestic Product，以下簡稱 GDP）做為修正因子。因為如上所述，經濟發展過程中所使用的大量石化能源乃是溫室氣體排放之因，因此經濟發展水準即意味著所須負擔的減量責任；此外，經濟發展水準較高的國家，通常也擁有較佳的減量技術，這意味著該因素也包含了減量能力的內涵；其次，人口數（Population）也是做為修正因子的候選之一，這主要是因為人口數是能源消耗的基底，為了維生所需的石化能源消耗，人口數多的國家自然比人口數少的國家使用得多，若是在進行分配時忽略這個因素，那麼也有可能因此限縮了維生所需的能源使用（Rose & Steven，1993；Larsen & Shah，1994；Edmonds *et al.*，1995；Aslam，2001；Cramton & Kerr，2002）。然而，雖然這些文獻以類同的思考方式各自提出認為符合公平性的修正因子，但對於如何將這些修正因子組織成分配公式方能使分配趨於公平等議題，卻仍毫無共識。由於各國對於初始排放權利分配之所以無法達成共識，其中一個很大的原因是由於各國對於公平性的內涵並無眾議僉同的看法；這使得後續無論在具體指標的選擇上，或是分配公式之建構，自然產生了歧異的結果（Ringius *et al.*，2002）。

因此，第二類的相關研究乃開始著重找出一個關於公平性原則概念內涵之共識。在這方面的研究，依此整理分屬於各領域在議題上相似、而形式上紛歧的不同分配方式，並進一步將隱藏於這些分配方式背後的公平性觀點，進而整理劃分為四種基本類別，分別是「平等主義」、「國家主權」、「償付能力」與「污染者付費」。其中，「平等主義」認為每個人天生都具有排放的權利，「國家主義」則是將此權利之定義推廣涵蓋至國家的層次，基本上，二者都秉持著「天賦固有排放權利」（Right Based）的立場，只是涵蓋範圍有所不同。另一方面，「償付能力」指出能者應當多勞，即高所得水準的國家由於具有較多的資源與技術優勢，因而具備較佳的衝擊調適能力，因此應當

負擔較高的減量水準（註 2）；而「污染者付費」則是訴諸各國累積排放量對環境傷害的責任歸屬，認為責任越大者將承擔較大的排放減量，這二種公平性觀點是立基於「責任能力承擔」（Duty Based）的精神上（Rose *et al.*, 1998；Berk & den Elzen, 2001；Höhne *et al.*, 2003）。在上述的各項公平內涵下，文獻上曾提出各自對應的排放權分配操作模式（註 3）（Rose & Stevens, 1993；Rose *et al.*, 1998；Miketa & Schrattenholzer, 2006），整理如表 1。

表 1 公平原則內涵與對應操作定義

公平原則	操作定義
1. 平等主義	每人擁有相同的排放權利
2. 國家主權	依累積排放使用量分配排放權利
3. 償付能力	依每人所得水準比例分配排放權利
4. 污染者付費	依污染責任比例進行分配

資料來源：整理自 Rose *et al.* (1998)、Miketa 與 Schrattenholzer (2006)。

Ringius *et al.* (2002) 指出，上述四種觀點與延伸而來的各種操作模式，並沒有孰優孰劣之別，而是反映建構一個全面性公平原則所須兼顧的面向。為了將上述的觀點能夠更加適切的應用於全球排放分配的議題上，Ringius *et al.* (2002) 則進一步以成本 (Cost)、效益 (Benefit) 做為分配標的面向，以及肇因者 (Cause of Current State of Problem)、行動者後果 (Consequences for Actors) 做為聚焦面向，將上述不同觀點的四項原則予以歸納整併，最後提出一個一般性的公平性分配制度設計原則。根據其概念，符合公平性的分配制度內涵，主要包含四個子原則的考量，分別是「需求」(Need)、「責任」(Responsibility)、「貢獻」(Contribution) 與「能力」(Capability) 子原則。

若以每個國家在承諾減量後所可能面對的後果——即行動者後果——做為聚焦時，衍生而來的則是「需求」與「能力」子原則。根據「需求」子原則，排放量分配制度必須顧及各個國家對經濟成長與基礎維生的能源排放需求。而「能力」子原則，即是考慮各國所擁有的減量承擔能力，其內涵包含了二個層次，一是能者多勞，即擁有較佳資源與技術的國家或部門應負擔較高的減量目標；而另一則是制度必須能夠促使提升排放者的減量效率，改善能為而不為者，例如有能力做產業結構調整但卻不做的情況。

另一方面，若以全球暖化問題之肇因者做為聚焦面向時，一般共識認為若國家是惡化氣候變遷問題的來源，如此就該承擔起較多的責任，以責任歸屬之比重做為初始排放權分配之依據，此即「責任」子原則。相反的，若國家在氣候變遷問題上是有解決問題的功能，依此也該以其貢獻的比重，給予相符的獎勵。這即是「貢獻」子原則的內涵。

然而，就現存的氣候變遷問題，由於每個國家都是溫室氣體的排放國，只是排放程度不一而已，並沒有那一個國家扮演積極主動解決全球暖化角色的問題，至多是以規劃減量的方式來尋求對環境較低的傷害；從這個角度來說，並沒有那一個國家可適用「貢獻」子原則。但從實際分配的角度切入時，目前已致力於減量的國家，其成果將透過「責任」子原則之反映，進而分配到較少應減排放量以做為鼓勵，這意味著「貢獻」子原則事實上可由「責任」子原則之採用來實現。因而，最後一般性的公平原則將可縮減為「責任」、「能力」與「需求」三個子原則之組合（Ringius *et al.*, 2002；Höhne *et al.*, 2003）。然而，雖然 Ringius *et al.* (2002) 提出了一般化的公平原則內涵，但對於如何將這些內涵應用於實際排放分配議題並未多加著墨。

就目前文獻發展而言，Gupta (2003) 曾配合上述公平內涵提出「維持簡化模式」(Keep It Simple, Stupid, 以下簡稱 KISS)，並以所得 (Income)、人均二氧化碳排放量 (CO₂ Emission per Capita) 與人力發展指標 (Human Development Index, 以下簡稱 HDI) 來代表公平性三大子原則，並依此將世

界各國區分為十二個等級，分屬每個等級的國家群體給予不同的減量目標。然而，Gupta (2003) 並未將上述的三個指標組織成可供模擬試算的分配公式，只是單純的利用這些指標做為分類國家的依據。就其所提出的分配方式而言，本質上是一種由下而上 (Bottom Up Approach) 的分配機制，即各國先擬定自己的減量計畫，再於國際會議上提出，而最後的總成果則要視各國的加總而定。這種方法並非先確立世界總減量目標再向下分配給承諾減量國的由上而下方式 (Top Down Approach)，因此無法確認在分配完畢後，各國的減量總和與世界的總目標是一致的。

隨後，由 Baer *et al.* (2008) 所聯合建構的「溫室氣體發展權利架構」第二版報告書中所提出的分配架構，其主要特色在於強調確保個人的基本維生與發展權利，並進一步將此精神與減量能力、排放責任整合成可量化的「能力與責任指標」(Responsibility and Capacity Indicator, 以下簡稱 RCI)。依此架構之應用，在確認世界的總合減量目標或是可排放總量後，得以藉由 RCI 指標來分配各國的應減排放量或是排放許可量，進一步得到同時兼顧維生與發展需求 (需求子原則)、減量能力 (能力子原則) 與排放責任 (責任子原則) 之分配結果。此外，GDR 架構適用於由上而下的分配模式，也因此改善了 KISS 架構的缺點，為排放分配議題提供了一個實用的操作參考架構。

綜上所述可知，雖然目前文獻對於各國排放權利 (或應負擔的減量責任) 之公平分配問題，已凝聚出數個概念內涵上的共識，且提出了部分對應的實際操作架構。然而，目前依據上述不同公平原則所建構的減量成本模擬分析仍付之闕如，因而無法了解站在世界整體立場，與不同經濟發展程度國家傾向採用之公平原則的異同。職是之故，在本文後續的分析，將模擬在各種分配模式下，各國於排放交易前後的總減量成本，藉此結論出不同發展群組國家於未來參與世界減量行列之傾向。

III、各種分配模式的成本有效性分析

各分配模式主要來自由表 1 彙整文獻的四種排放權利分配模式以及 GDR 架構，並依此建立起五種分配模式，以進行後續成本有效性之模擬分析。在進行各分配模式之模擬分析前，我們需要先定義基礎模擬情境、估算各國的邊際減量成本曲線，以及設定納入排放交易市場機制後的實證模型。本本的模擬程序與步驟歸納如圖 1 所示。

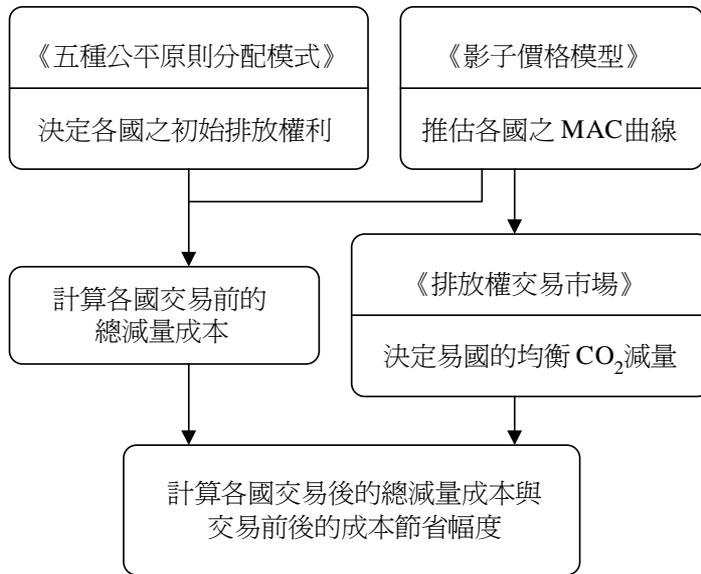


圖 1 本文之模擬程序與步驟

資料來源：本文繪製。

3.1 基礎模擬情境條件

本文依循京都議定書之單一承諾減量模式，假定於 2012 年前，締約國平均需將 CO₂ 排放總量減少至比 1990 年排放總量少約 5.2%。為得知此前提

世界達此目標的總排放減量或總允許排放量，則必須獲知未進行任何減量策略下的世界排放總量預估。為滿足此一目的，本文乃採用世界能源展望報告書 (International Energy Agency, 2007)，全球能源模擬策略中的「如常排放軌跡」(Business-As-Usual Trajectory, 以下簡稱 BAU)，並選擇 2010 年做為世界各國未對排放減量進行任何努力的如常排放總量模擬 (註 4)。根據估算的結果，本本所採用的樣本國於 1990 基準年的排放總量約為 5,561 百萬公噸、2010 年的如常排放總量約為 7,913 百萬公噸。為達到京都協議書之減量承諾，則世界各國共需減少約 $7,913 - 5,561 \times (1 - 5.2\%) = 2,641$ 百萬公噸的 CO₂ 排放量；反之，為了達到減量目標，則世界的總允許排放量約為 $5,561 \times (1 - 5.2\%) = 5,272$ 百萬公噸。

3.2 排放權利分配模式之建立

在不同的公平性原則下，各國將分配到不同的初始排放權利，或是初始排放應減量，與世界總允許排放量 (Total Allowable Emission, 以下簡稱 TAE)，或是世界總排放應減量 (Total Emission Reduction, 以下簡稱 TER) 之關係，可呈現如圖 2 所示。

在平等主義、國家主義、償付能力、污染者付費四種原則下，各國的初始允許排放權利定義為 $IREA_k$ ，而在 GDR 架構下，各國的初始排放應減量則定義為 ER_k 。亦即五種分配模式中前四種主要以初始的「允許排放量」(Allowable Emission, 以下簡稱 AE) 為分配基礎，而最後一種準則乃是以「應減總量」(Emission Reduction, 以下簡稱 ER) 為分配基礎。而由於各種分配模式皆建立在單一減量承諾架構下，因此在決定應減總量時，事實上亦決定了各國對應的允許排放量。

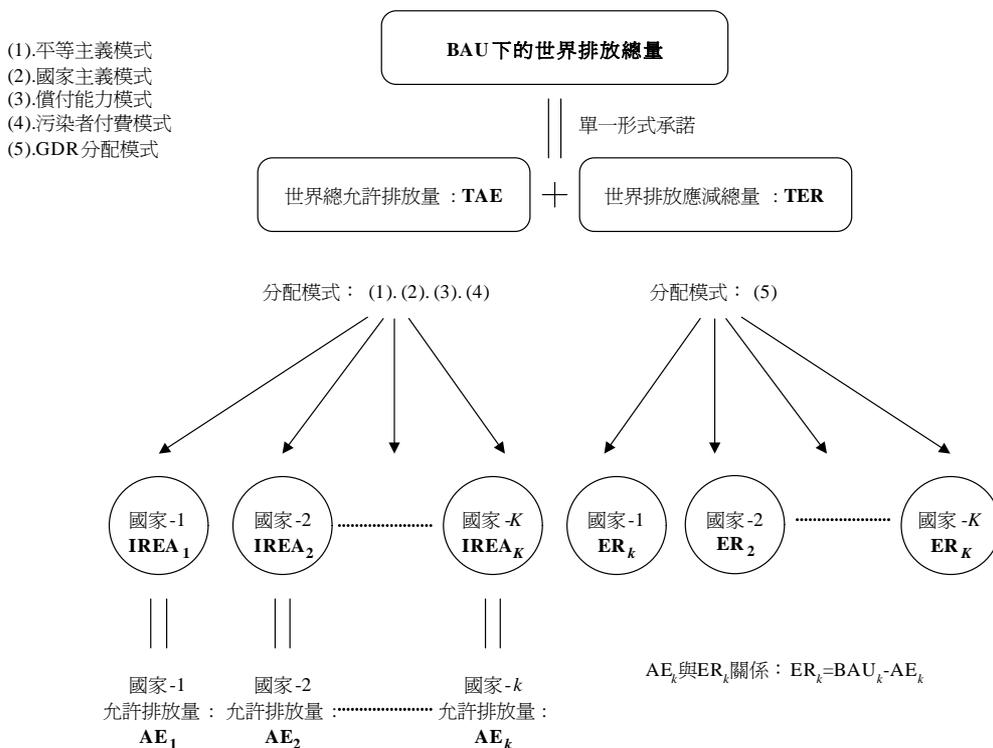


圖 2 各公平性原則下的 CO₂ 初始排放權利或排放應減量

資料來源：本文繪製。

3.2.1 平等主義分配模式

在平等主義分配模式下，每個人擁有相同的排放權利；換言之，在確立世界總允許排放量（TAE）後，各國的允許排放量（AE_k^e）則依各國人口數佔世界人口之比例來分配，表示如(1)式：

$$AE_k^e = TAE \times \frac{k國總人口}{世界總人口} \tag{1}$$

3.2.2 國家主權分配模式

在 Rose *et al.* (1998) 的定義下，國家主權所衍生而成的分配模式乃認為，特定國家所能分配到的排放權利，主要與該國過去至今的累積排放量成一定的正向比例。換言之，在國家主權的分配模式下，過去擁有較多排放量的國家將分配到較多的排放權利，此亦即文獻上所稱的歷史溯往 (Grandfathering Approach) 排放分配模式。

在實際操作上，因本文之資料為各國 1990 年到 2005 年之累積排放量，故以此做為排放權利分配之基礎，當累積排放量越高時，則擁有較多的排放權利；反之，則分配到較少的排放許可量。各國的排放許可量估算如(2)式：

$$AE_k^s = TAE \times \frac{k\text{國累積排放量}}{\text{世界累積排放量}} \quad (2)$$

3.2.3 償付能力分配模式

償付能力分配模式的精神認為，有能力的國家應負擔較大的減量責任，反之，可以負擔較低的減量責任。在此前提下，則以各國的每人 GDP 佔世界份額之比例，做為能力高低的分配基礎。依此，每人 GDP 份額比例較高的國家將分配到較少的排放權利；反之，每人 GDP 份額比例較低的國家則分配到較多的排放權利。各國之排放許可量估算如(3)式：

$$AE_k^a = TAE \times \frac{1 - (k\text{國人均GDP}/\text{世界人均GDP總和})}{\sum_{i=1}^K [1 - (k\text{國人均GDP}/\text{世界人均GDP總和})]} \quad (3)$$

3.2.4 污染者付費分配模式

污染者付費分配模式強調的是，主要污染製造者將付出相對應的代價；於是呈現於排放分配議題上，則是排放總量越高者應分配到較少的排放許可量，反之，則分配到較高的排放許可量。

在進行模擬操作時，同樣以各國 1990 到 2005 年之累積排放量做為分配基礎，但與國家主義分配模式相反，污染者付費分配模式中累積排放量較高的國家將分配到較少的排放許可量；反之，則擁有較高的初始排放許可量。各國之排放許可量估算如(4)式：

$$AE_k^p = TAE \times \frac{1 - (k\text{國累積排放量}/\text{世界累積排放量})}{\sum_{i=1}^K [1 - (k\text{國累積排放量}/\text{世界累積排放量})]} \quad (4)$$

在上述四種分配模式中，所得到的排放許可量與各國的 BAU_k 排放量間之差距，即為各國對應的應減排放總量，亦即 $ER_k = BAU_k - AE_k$ ；此時可配合各國對應的 MAC_k 曲線，進一步求算出在此應減總量下所必須付出的減量成本，最後再予以加總，即能得到對應各模擬策略下的總減量成本。

3.2.5 GDR 分配模式

在 GDR 分配模式中，主要先依「需求」、「能力」與「責任」三個公平性子原則來建立 RCI 指標，再進一步利用此指標來進行各國的應減排放量或是允許排放量之分配。其定義如(5)式所示：

$$RCI = aR + bC \quad (5)$$

其中 R 、 C 分別為各國對應之責任指標與能力指標； a 與 b 為權數，二者相加為 1，當 a 越大而 b 越小時，表示 RCI 之計算結果絕大部分決定於各國的責任指標；反之，當 a 越小而 b 越大時，則 RCI 之計算結果主要決定於各國的能力指標。

在實際做法上，在計算各國的 RCI 指標前，必須先訂立「發展門檻值」(Development Threshold)以保障各國的永續發展與維生需求。根據 GDR 第二版報告書之估算，發展門檻值約為每人每年 7,500 美元 (Baer *et al.*, 2008)，特定國家中唯有所得超過此一門檻值之民眾，由於其基本維生條件

與永續發展已被確保，因此才需要分擔減量責任，此即「需求」原則之體現。在此一精神上，此分配模式可依據各國的吉尼係數（Gini Coefficient），進一步計算出年均所得在此一發展門檻值以上的人口，而這些人口即為計算責任指標與能力指標—即(5)式中的 R 與 C—時之人均化之基礎。亦即，在計算各國的責任與能力指標時，所採用的是「人均化」而不是總人口，亦即以該國每人每年所得超過 7,500 美元之總人口進行人均化。另外，為具體呈現「責任」與「能力」公平子原則的概念，GDR 架構採用累積人均二氧化碳排放量佔世界之份額比例，以及人均所得佔世界份額之比例做為各國的責任指標與能力指標。

在決定權數以完成 RCI 指標之計算後， k 國所應承擔的總減量 g 可由(6)式求算出：

$$ER_k^g = RCI_k \times TER \quad (6)$$

然而，由於缺乏共識的權數決定準則，在 GDR 的第二版報告書（Baer *et al*, 2008）中並未提及如何決定(5)式中的相關權數。因本文強調以總減量成本節省之多寡做為檢視分配政策的主要考量準則，因此在進行後續之模擬分析時，將採用 $a=0$ 及 $b=1$ 為初始點、並以每 0.1 做為間隔，共進行十組 RCI 數值之模擬計算，並進一步求算出在對應各組權數下各國的總減量成本，以分析在不同權數下的成本總減量成本變動的比較。

3.3 各國邊際減量成本曲線之估算

在估算各國的邊際減量成本（註 5）曲線上（Marginal Abatement Cost，以下簡稱 MAC），本文採用 Färe、Grosskopf 與 Herandez-Sancho（2004）藉方向性距離函數（Directional Distance Function）所推導出的影子價格模型（Shadow-Pricing Model）加以推估。

假設 $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ 和 $b = (b_1, \dots, b_J) \in R_+^J$ 與 $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ 分別是各國生產決策單位 (Decision Making Unit, 以下簡稱 DMU) 進行生產活動時, 以 GDP 表示之經濟發展的意欲產出 (Desired Output) 與 CO₂ 之非意欲產出 (Undesired Output), 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, 利用 Chung、Färe 與 Grosskopf (1997) 定義方向性產出距離函數, 以同時考量 CO₂ 之非意欲產出的生產技術如(7)式所示:

$$\bar{D}_0(x, y, b; g) = \max_{\beta} \{ \beta : (y + \beta \cdot g_y, b - \beta \cdot g_b) \in P(x) \} \quad (7)$$

以圖 3 配合(7)式加以解說, 其中 $g = (g_y, -g_b)$ 為方向性向量, 表示經濟發展之意欲產出與 CO₂ 的非意欲產出一正一負的關係, 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, 使之能成為效率生產單位的比率, 其值大於等於 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 $(b_i - 0.4 \cdot g_b, y_i + 0.4 \cdot g_y)$, 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。

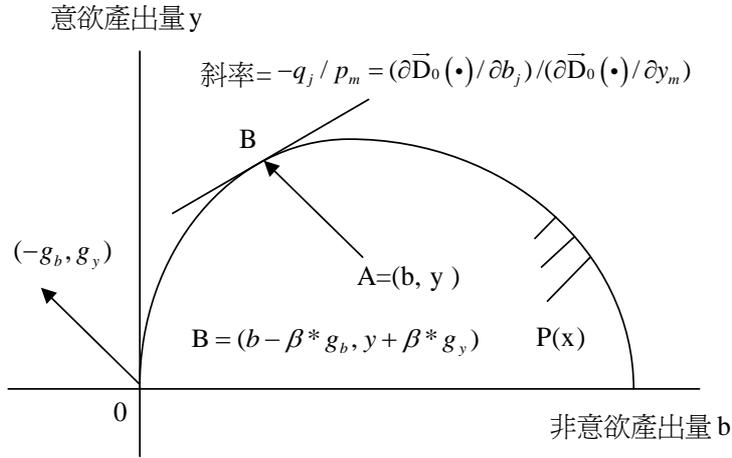


圖 3 方向產出距離函數與邊際減量成本關係

資料來源：本文修正自 Chung、Färe 與 Grosskopf (1997)。

爲了求算邊際減量成本，則必須先將收益函數與上述的方向性距離函數連結起來。假設 $p = (p_1, \dots, p_M) \in R_+^M$ 與 $q = (q_1, \dots, q_J) \in R_+^J$ 分別爲意欲產出與非意欲產出之價格向量，則 DMU 爲同時考慮 CO₂ 之非意欲產出的收益函數可定義如(8)式：

$$R(x, p, q) = \max_{y,b} \{py - qb : (y, b) \in P(x)\} \tag{8}$$

DMU 的收益極大化之決策準則，事實上等同於求取對應方向性距離函數值之極小化，如(9)式所示：

$$\bar{D}_0(x, y, b; g) = \min_{p,q} \left\{ \frac{R(x, p, q) - (py - qb)}{pg_y + qg_b} \right\} \tag{9}$$

在包絡理論 (Envelope Theorem) 之應用下，可進一步導出 (10-1) 與 (10-2) 式所呈現的關係：

$$\nabla_b \bar{D}_0(x, y, b; g) = \frac{q}{pg_y + qg_b} \geq 0 \quad (10-1)$$

$$\nabla_y \bar{D}_0(x, y, b; g) = \frac{-p}{pg_y + qg_b} \leq 0 \quad (10-2)$$

在上述的關係下，若已知意欲產出 GDP 之價格向量 p ，以及對應的方向性距離函數值，則非意欲產出 CO_2 之影子價格向量 q （即 MAC）及對應的邊際變動率 λ （即 MAC 曲線斜率）可藉由(11-1)與(11-2)式求得：

$$\text{MAC} = q = - \left(\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial b}{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial y} \right) * p = - \frac{\bar{D}_b}{\bar{D}_y} p \quad (11-1)$$

$$\frac{\partial \text{MAC}}{\partial b} = \lambda = \left(- \frac{\partial (\bar{D}_b / \bar{D}_y) p}{\partial b} \right) \quad (11-2)$$

爲了解各個 DMU 的 MAC，則必須將方向性距離值轉換成可對 b 與 y 微分之函數式，因此本文採用 Färe、Grosskopf 與 Weber（2006）的做法，利用方向性距離函數之二次近似函數式，進一步配合參數化的估計方法加以求解。如本文包含一個意欲產出、一個非意欲產出與三種投入的近似函數式，可表示如(12)式：

$$\begin{aligned} & \bar{D}_0(x, y, b; g) \\ &= a + \sum_{n=1}^3 a_n x_n^{kt} + \beta_1 y^{kt} + \gamma_1 b^{kt} + 1/2 \sum_{n=1}^3 \sum_{n'=1}^3 a_{n,n'} x_n^{kt} x_{n'}^{kt} + 1/2 \beta_2 (y^{kt})^2 \\ & \quad + 1/2 \gamma_2 (b^{kt})^2 + \sum_{n=1}^3 v_n x_n^{kt} b^{kt} + \mu y^{kt} b^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_n x_n^{kt} y^{kt} \end{aligned} \quad (12)$$

在第(12)式裡， k 表示國家、 t 表示年份、第 k 國在第 t 年之 GDP 以 y^{kt} 表示、CO₂ 排放量以 b^{kt} 表示、而 x_n^{kt} ， $n=1,2,3$ 則分別表示投入要素中之能源消費量、實質資本形成與總勞動力。此外，爲了在轉換後仍保持方向性距離函數之屬性（Translation Properties）不變，因此(12)式必須滿足(13)式中的各個限制式：

$$\beta_1 - \gamma_1 = -1, \quad \beta_2 = \gamma_2 = \mu, \quad \delta_n - \nu_n = 0, \quad \alpha_{n,n'} = \alpha_{n',n}, \quad n, n' = 1, 2, 3. \quad (13)$$

其中 α 、 β 、 γ 、 ν 、 μ 、 δ 之待估計係數需由(15-1)式至(15-7)式求得。

此外，由於本本的資料特性是屬於長期追蹤資料，因此本本乃在截距項中加入虛擬變數，以將各個國家效果（Country Effect）與時間效果（Time Effect）區別出來。則(12)式的截距項 α 可以表示爲(14)式：

$$\alpha = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \eta_k I_k + \sum_{t=1}^T \theta_t T_t \quad (14)$$

其中 η_k 與 θ_t 分別代表國家效果與時間效果的係數，而 I_k 與 T_t 則爲兩種效果的虛擬變數，因此，當 $k'=k$ 時， $I_k=1$ ，否則 $I_k=0$ ；而當 $t'=t$ 時， $T_t=1$ ，否則 $T_t=0$ 。

在實際計算上，若假設有 k 個 DMU，則(12)式中的各相關係數，可藉由如下之(15-1)至(15-7)式數學規劃求解而得（註 6）：

$$\min \left[\bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) - 0 \right] \quad (15-1)$$

s.t.

$$\bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) \geq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-2)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) / \partial y \leq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-3)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) / \partial x \geq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-4)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) / \partial b \geq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-5)$$

$$\partial^2 \bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) / \partial y \partial b \leq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-6)$$

$$\partial^2 \bar{D}_0(x_k, y_k, b_k; 1, -1) / \partial y \partial y \leq 0, k = 1, 2, 3 \dots K. \quad (15-7)$$

其中(15-3)至(15-7)為單調限制式 (Monotonicity Condition)，以確保估計結果能夠符合上述各項方向性距離函數之特性。

當求得上述各估計係數後，可進而推算得到各國的 MAC 曲線。在概念上，MAC 與總減量之間的關係主要為正向遞增關係，亦即隨著總減量的上升，MAC 也將隨之增加 (Eyckmans、Cornillie & Regemorter, 2002)。在實證上，為降低後續跨國排放交易均衡求解之計算難度，本文將第 k 國的 MAC 成本函數型式設定為與總減量呈現簡單線性關係如(16)式：

$$MAC_k^l = \lambda_k (CO_2)_k^l = \lambda_k ER_k^l, \quad l = e, s, a, p, g \quad (16)$$

其中 ER_k^l 、 l 分別表示前述五大類不同的分配模式下，各國對應的應減總量，而 λ_k 則為利用(11-2)式計算而得之各國的 MAC 斜率。依此估算而得各國之 MAC_k^l ，除了反應經濟成本的意涵外，理論上亦代表經濟發展程度愈高的國家，為進行減量，必須付出相對高的成本，方有可能找尋 MAC_k^l 相對低的國家為買賣的對象，才能以相對低的代價達成減量的承諾。

若由單一國家的角度來看，在概念上總減量成本則是 MAC_k^l 曲線之積分，因此在不同分配模式下，參與排放市場交易前的各國總減量成本 TC_k^l 可由(17)式求得：

$$TC_k^l = \frac{1}{2} \cdot \lambda_k (CO_2)_k^l \cdot (CO_2)_k^l = \frac{1}{2} \lambda_k (ER_k^l)^2, \quad l = e, s, a, p, g. \quad (17)$$

3.4 納入排放權市場交易機制之實證模型

在確立各國的應減總量，並納入排放權市場交易機制運作後，將得以估算出各國於交易前後總減量成本之差異。由於採用不同的公平性準則會對應出不同的總減量成本，依此可進一步比較有無排放權交易機制而呈現不同初始排放權分配模式下的結果，並分析各群組國家與世界整體所採用的公平性原則之異同。

在合理的情況下，各國一般希望排放權交易這種新制度的引入，可以降低總減量成本；換言之，追求總減量成本之極化小是各國進行交易的主要目標。因此，多國的排放權市場交易機制之運作可依循 Dales (1968) 之設定，以(18-1)與(18-2)式表示：

$$\text{Min } TC_k^l = \sum_{k=1}^K C_k + p(ER_k^l - ER_k^*) \quad (18-1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^K ER_k^l = \sum_{k=1}^K ER_k^*, \quad l = e, s, a, p, g. \quad (18-2)$$

其中 C_k 表示第 k 國在不同分配模式下，利用排放市場交易機制之外的減量策略所必須付出之減量成本；而 p 表示交易市場上排放權的均衡價格； ER_k^l 與 ER_k^* 分別代表各國依不同模式所分配到的 CO₂ 減量責任與該國最後的 CO₂ 均衡減量。此時配合(16)式 MAC_k^l 曲線的設定，可求得利用排放市場交易機制之外的減量策略所必須付出之減量成本 C_k 如(19)式：

$$C_k = \frac{1}{2} \cdot \lambda_k (CO_2)_k \cdot (CO_2)_k = \frac{1}{2} \lambda_k (ER_k^*)^2 \quad (19)$$

其中 $(CO_2)_k = ER_k^*$ 表示第 k 國的 CO₂ 均衡減量， λ_k 為利用(11-2)式計算得到的各國 MAC_k^l 曲線之斜率。

在假設排放權市場為完全競爭、且沒有交易成本的情況下，排放交易市場之均衡出現在各國 MAC 相等時。因此，排放交易市場之均衡求解設定如(20-1)與(20-2)式所示：

$$MAC_1 = MAC_2 = MAC_3 = \dots = MAC_k = p \quad (20-1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^K ER_k^l = \sum_{k=1}^K ER_k^* \quad l = e, s, a, p, g. \quad (20-2)$$

當該國的均衡總減量 ER_k^* 大於初始分配 CO_2 之應減量 ER_k^l 時，則該國在此交易市場上為賣方，此時將可藉由排放權交易而獲得賣 CO_2 排放權之收益；反之則為買方，須購買排放權來彌補自行減量不足的部分。在估算得上述資訊後，可利用第(21)式計算出在不同分配模式下，第 k 國參與排放交易後的總減量成本如下：

$$TC_k^l = \frac{1}{2} \lambda_k (ER_k^*)^2 + p(ER_k^l - ER_k^*) \quad l = e, s, a, p, g. \quad (21)$$

IV、資料來源與變數處理

進行本文分析所需要的資料分為二部分：第一部分為藉由方向性距離函數估算各國 MAC 曲線所需要的相關投入產出變數，第二部分則是建構各種分配模式之模擬時所需要的指標變數。

在第一部分方向性距離函數的建構上，投入項資料主要包含了「勞動投入量 (Labor)」、「實質資本形成 (Real Capital Formation)」與「能源使用量 (Energy Use)」，意欲產出項為「實質國內生產毛額 (Real Gross Domestic Product)」，而非意欲產出項則是「 CO_2 之排放量」。而第二部分所使用的絕大部分指標變數，除了各國的人口數需要再行收集外，其餘的變數已包含在第一部分所採用的變數資料中（註7）。

這些資料主要有三個來源。第一，在跨國「 CO_2 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, 以下簡稱 WRI) 的氣候分析指標工具。這個指標系統涵蓋了世界各國自 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」、「人口數」則是來自於世界銀行的世界發展指標資料庫（World Development Indicators，以下簡稱 WDI）。此一資料庫，共包含了世界 209 個國家 1960 年到 2007 年的相關指標資料，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，其他分析中所需的台灣其他之變數，並無法在聯合國資料庫與 WDI 資料庫中找到，因此必須另外蒐集。其中「勞動投入量」、「實質資本形成」、「人口數」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以就業率而得。而「能源使用量」的變數資料，則是由行政院經濟部能源局（2009）的網站上取得。

綜合前述的資料需求，本文所需要的資料型態為跨國的時間序列資料；而在樣本選取上，則以國家樣本在排放議題上的代表性，與資料完整度做為選擇的標準。首先，國家樣本的代表性部分，包涵了在第一階段已簽定京都議定書的國家及附件 B（Annex B）國家，同時，也包括在後京都時期仍扮演著世界總減量的重要分擔角色者。另一方面，為了使分析結果有代表性與實際意義，參與承諾減量者最好是對現今氣候變遷有顯著影響的國家，亦即承諾減量者必須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全數的附件 B 國家為樣本外，亦納入世界各國 1950 到 2005 年的 CO₂ 累積排放總量前 50 名者之國家樣本。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 個國家的累積排放量在 1950 到 2005 年共佔世界總累積排放量的 93.73%，因而具備良好的代表性。這些國家的累積排放量資料如附表 2 所示。

除此之外，不同國家各個變數的年份完整度並不相同，在初步選定分析國家後，再以缺漏最少、擁有相對完整性資料做為各國時間涵蓋度的考量，最後依此挑選出來的資料，則是這 57 個國家起自 1990 至 2005，涵蓋 16 年共 912 筆資料，本文將以此做為後續分析之用。

V、各國、群組國與世界整體在不同公平選擇下的衝突與調和分析

5.1 不同分配模式下的總減量成本分析

利用方向性距離函數之估計結果（即附表 2），進一步估計而得表 2 在五種分配模式下，進行排放交易前後的世界總減量成本之估算結果的比較。由表 2 結果可知，在進行排放交易前，世界的總減量成本約在 107,747 百萬美元到 540,699 百萬美元之間。其中，在「GDR 分配模式」下，且當權數 $a=1$ 及 $b=0$ 時，亦即全然以 RCI 架構中的責任指標為主進行減量責任分配時，世界的總減量成本為最低。另一方面，若依「污染者付費分配模式」，則世界的總減量成本為最高。由於在「污染者付費分配模式」之下，高所得國家承擔了絕大部分的減量責任；同時高所得國家普遍具備較高的 MAC，也因此依此模式所得到世界總減量成本相對的也最高。

然而，當我們將排放交易制度帶入模擬考量後發現，透過參與跨國排放交易機制，世界整體確實會因為交易制度節省程度不一的總減量成本。其中，採用「污染者付費」分配模式在參與交易前後所節省的總減量成本共約 449,602 百萬美元，為所有分配模式下節省最多成本者。就參與排放交易與否的角度來看，理論上而言，「污染者付費」分配模式可以提供世界整體最大的誘因，讓跨國的排放在交易制度下進行，因此該分配模式乃為最符合世界整體利益的分配模式。

表 2 不同分配模式下參與排放權交易前後的總減量成本變動

分配模式	交易前總成本 (百萬美元)	交易後總成本 (百萬美元)	交易前後成本節省 (百萬美元)
1.平等主義	239,836	91,097	148,739
2.國家主權	173,033	91,097	81,936
3.償付能力	530,596	91,097	439,499
4.污染者付費	540,699	91,097	449,602
5.GDR 模式			
a=0.0, b=1.0	124,569	91,097	33,472
a=0.1, b=0.9	121,709	91,097	30,612
a=0.2, b=0.8	119,171	91,097	28,074
a=0.3, b=0.7	116,908	91,097	25,811
a=0.4, b=0.6	114,904	91,097	23,807
a=0.5, b=0.5	113,167	91,097	22,070
a=0.6, b=0.4	111,632	91,097	20,535
a=0.7, b=0.3	110,379	91,097	19,282
a=0.8, b=0.2	109,310	91,097	18,213
a=0.9, b=0.1	108,439	91,097	17,342
a=1.0, b=0.0	107,747	91,097	16,650

資料來源：本本估算。

5.2 各發展群組國家於不同分配模式下的總減量成本分析

除了由世界整體的角度進行檢視外，亦可由不同發展程度之國家群組角度，進行群組國家平均減量成本之檢視。由此，本文進一步依照世界銀行的分類將國家分為四個所得群組，分別為每人每年所得 935 美元以下者的低所得國家 (Low-Income Countries, 以下簡稱 LCs)、每人每年所得界於 936 到 3,705 美元的中低所得國家 (Low Middle-Income Countries, 以下簡稱 LMCs)、每人每年所得界於 3,706 到 11,455 美元的中高所得國家 (Upper Middle-Income Countries, 以下簡稱 UMCs) 以及每人每年所得高於 11,456

美元的高所得國家 (High-Income Countries, 以下簡稱 HCs)。各國之 BAU 排放量、均衡減量及 MAC 之估計結果如附表 3, 而各群組國家在不同公平原則下的分配權數如附表 4 所示。

根據表 3 結果顯示, 在未進行排放權交易前, 在最高所得群組的國家 (HCs) 中, 各國的平均減量成本於採用「國家主權分配模式」時為最低, 約為 443 百萬美元。另一方面, 當採用「污染者付費分配模式」進行分配時, 未參與排放權交易前的平均減量成本將會最高, 約為 7,344 百萬美元。而在進行排放交易後, 當 HCs 群組採用「國家主權分配模式」、「償付能力分配模式」與「污染者付費模式」時, 由於這些國家大多分配到較多的排放許可量, 因而在排放交易市場裡多扮演賣家的角色。其中, 採用「國家主權分配模式」能夠使 HCs 各國在參與排放交易後, 得到最低的平均總減量成本, 因而站在 HCs 立場時, 「國家主權分配模式」將是最有利於該群組國家之分配模式。反之, 當採用「平等主義分配模式」與各種能力及責任權數組合的「GDR 分配模式」時, HCs 各國在排放交易市場上多扮演買家的角色, 因此需支付成本購買排放權利, 再加上經由非排放權交易機制所需付出的減量成本, 即便參與排放權交易之後, 仍無法為 HCs 群組中的各國換得較多的成本節省。

其次, 在 UMCs 國家群組裡, 進行排放交易前的平均總減量成本最低者為採用「污染者付費分配模式」時, 約為 595 百萬美元。而採用「平等主義分配模式」時會有最高的總減量成本, 約為 3,798 百萬美元。在進行排放交易後, 採用「償付能力分配模式」與「污染者付費模式」, 將使得 UMCs 群組國分配到較多的排放許可量, 因而可在排放交易市場中藉由交易而得到收益, 甚至這些收益高於各自的平均減量成本, 致使最後不只是節省成本, 反而能夠由交易中獲取一些淨收益。其中, 由於「污染者付費分配模式」將為 UMCs 各國, 在排放交易後帶來最低的平均總減量成本, 因此就 UMCs 群組國家的立場而言, 「污染者付費分配模式」將為其帶來最大的收益。反之,

當採用其他的分配模式時，UMCs 各國在排放交易市場上多扮演買家的角色，雖能藉排放交易市場以節省一定程度的減量成本，但整體而言仍需支付成本來購買排放權利。

在 LMCs 的國家群組裡，在進行排放交易前，採用「GDR 分配模式」平均而言會有較低的平均總減量成本，當組合為偏向能力權數的 $a=0.3$ 及 $b=0.7$ 時，這些群組國會有最低的交易前總減量成本，為 497 百萬美元。而採用「平等主義分配模式」時有較高的交易前總減量成本，約為 1,929 百美元。在進行排放交易後，除了「平等主義分配模式」外，無論採用何種分配模式，對 LMCs 各國平均而言，皆在排放交易市場上扮演賣家的角色，因此能夠藉由出售排放權而得到收益以抵減一些總減量成本的支出。且根據表 3 可知，當採用「償付能力分配模式」與「污染者付費分配模式」時，LMCs 群組國平均藉由出售排放權利而得到的收益，將大於排放交易機制外所付出的減量成本，最後將透過參與排放交易得到正的淨收益。另一方面，在這二種分配模式之中，「污染者付費分配模式」於交易後，將為 LMCs 群組國家帶來最高的淨收益，因此站在 LMCs 群組國家的立場，「污染者付費分配模式」將是收益最大的分配模式。

最後，在 LCs 群組中，在參與交易前，類同於 LMCs 群組，同樣是採用「GDR 分配模式」會有較低平均總減量成本。其中當權數組合為完全反應能力權數的 $a=0.0$ 及 $b=1.0$ 時，此一群組國會有最低的平均總減量成本，約為 424 百萬美元。而採用「污染者付費分配模式」時，由於身處該群組之中的排放大國—印度與中國—將因大幅成長的 CO₂ 排放付出甚高的代價，因此 LCs 各國將有較高的平均總減量成本，約為 58,057 百萬美元。當參與排放交易後，採用「國家主權分配模式」、「償付能力分配模式」與「污染者付費分配模式」，LCs 各國平均而言在排放交易市場上扮演買家的角色，因此必須支付成本購買所需的排放許可量。除此之外，採用其餘的分配模式都將使得 LCs 各國扮演賣家的角色，如此反而能夠藉由出售排放權利以進一步節省總

減量成本。根據表 3 的結果可知，當採用「平等主義分配模式」時，LCs 群組各國會得到最高的淨收益，平均約為 9,415 百萬美元，表示採用該分配模式將最符合 LCs 群組各國的利益。

上述是站在不同類型發展國家的立場，以參與排放權交易前後之總減量成本的變動，評述參與該政策對不同發展群組國家之優劣。然而，站在世界整體的立場而言，為了解決 CO₂ 累積所產生的危害，根據表 2 的結果顯示，「污染者付費分配模式」是可以使得世界各國參與交易機制後，得以產生最大的減量成本之節省的公平準則，此一結果也反應在表 3 的結果，如果將表 3 中各種發展群組國家，在參與及未參與排放權交易機制下，以各分配模式所估算而得的平均總減量成本乘以各群組之國家數，則可得對應於表 2 的全體國家交易後所節省的成本。

藉由檢視不同群組國家與世界整體之立場，對於各群組國家與世界整體而言，能夠得到最大成本節省的分配模式未必是相同的。比如，在 HCs 國家群組中，在無論是參與交易前或交易後，採用「國家主義分配模式」將帶來最低的平均減量成本，因此該分配模式能為 HCs 群組國帶來最大的收益或最低的成本。這主要是因這些國家能夠由過去的累積排放量得到較高的初始排放權，因此除了不但無須花費成本於減量之外，更有可能在排放市場上扮演賣家的角色而得利。然而，如此的分配模式將與由世界整體利益觀點下「污染者付費分配模式」之選擇有所衝突。換言之，若欲說服 HCs 群組內的國家接受能為世界帶來最高總減量成本節省之「污染者付費」原則時，也預期較難達成共識。

同樣的情況亦出現於 LCs 群組國家，在參與交易後的最低平均總成本發生於「平等主義分配模式」，其亦與世界整體立場所欲採用的「污染者付費分配模式」之選擇有所衝突。反之，在四個群組之中，UMCs 與 LMCs 國家群組在參與交易後的最低平均總成本，出現於「污染者付費分配模式」之採用，與世界整體在採取排放權交易制度，可帶來最大成本之節省的立場是一致的。

表 3 不同發展程度國家在參與排放權交易前後總減量成本之比較^{1, 2}

分配模型	排放交易前各國平均總減量成本				排放交易機制下的相關成本與收益												排放交易機制所節省之成本 (5)=(1)-(4)			
	(1)				各國交易的平均收益或成本				排放交易機制外的平均減量成本				排放交易後各國平均總減量成本				(4)=(2)+(3)			
	HCs	UMCs	LMCs	LCs	HCs	UMCs	LMCs	LCs	HCs	UMCs	LMCs	LCs	HCs	UMCs	LMCs	LCs	HCs	UMCs	LMCs	LCs
1.平等主義	6,517	3,798	1,929	5,027	3,053	1543	34	-12,868	2,117	603	959	3,453	5,170	2,145	993	-9,415	1,347	1,653	936	14,442
2.國家主權	443	1,694	831	21,983	-2,452	642	-567	9,806	2,117	603	959	3,453	-335	1,244	392	13,260	778	450	439	8,723
3.償付能力	7,171	606	1,471	57,132	-204	-3,313	-3,291	17,198	2,117	603	959	3,453	1,913	-2,711	-2,332	20,651	5,258	3,317	3,803	36,481
4.污染者付費	7,344	595	1,517	58,057	-240	-3,387	-3,292	17,426	2,117	603	959	3,453	1,877	-2,784	-2,333	20,880	5,467	3,379	3,850	37,177
5.GDR																				
a=0.0,b=1.0	4,789	1,253	520	424	1,931	451	-745	-4,625	2,117	603	959	3,453	4,047	1,053	214	-1,171	742	200	306	1,595
a=0.1,b=0.9	4,670	1,223	508	446	1,898	441	-726	-4,570	2,117	603	959	3,453	4,015	1,044	233	-1,117	655	179	275	1,563
a=0.2,b=0.8	4,556	1,205	502	470	1,860	438	-703	-4,517	2,117	603	959	3,453	3,977	1,041	256	-1,064	579	164	246	1,534
a=0.3,b=0.7	4,454	1,187	497	494	1,824	435	-681	-4,467	2,117	603	959	3,453	3,941	1,037	278	-1,014	513	150	219	1,508
a=0.4,b=0.6	4,359	1,164	498	518	1,785	426	-655	-4,411	2,117	603	959	3,453	3,901	1,029	304	-958	458	135	194	1,476
a=0.5,b=0.5	4,269	1,143	506	542	1,742	417	-624	-4,365	2,117	603	959	3,453	3,859	1,020	335	-912	410	123	171	1,454
a=0.6,b=0.4	4,185	1,129	515	567	1,697	414	-594	-4,313	2,117	603	959	3,453	3,814	1,016	365	-860	371	113	150	1,427
a=0.7,b=0.3	4,112	1,103	530	592	1,654	399	-560	-4,268	2,117	603	959	3,453	3,771	1,001	399	-815	341	102	131	1,407
a=0.8,b=0.2	4,036	1,094	550	615	1,604	395	-522	-4,225	2,117	603	959	3,453	3,721	998	437	-771	315	96	113	1,386
a=0.9,b=0.1	3,966	1,082	575	640	1,553	387	-483	-4,180	2,117	603	959	3,453	3,670	990	476	-727	296	92	99	1,367
a=1.0,b=0.0	3,900	1,068	605	665	1,501	375	-442	-4,131	2,117	603	959	3,453	3,617	978	517	-677	283	90	88	1,342

資料來源：本本估算。

註：1. 所有數字為除以各群組中國家數目的平均成本，HCs 包含 21 個國家、UMCs 包含 8 個國家、LMCs 有 22 個國家，LCs 則有 6 個國家。單位為百萬美元。

2. 負數表示這些國家為賣家，因賣出排放權因而有收益；正數表示這些國家為買家，於是在排放交易市場上需付出成本，故與其他減量方式所需付出的成本均以正數表示。

5.3 美國、印度、中國於不同分配模式之下的總減量成本分析

美國、印度與中國同屬 CO₂ 排放大國，其中美國為目前世界累積排放量最高的國家，1950 到 2005 年的累積排放量高達世界總量的 26.67%。而中國與印度除了分別排放高達世界總量的 9.88% 與 2.59% 外，近年二國快速的經濟發展，預期也將在未來會帶來更高的 CO₂ 排放量。然而上述三國直至目前為止仍未答應加入承諾減量的行列，這對於未來世界總減量目標是否能夠達成將產生極大的影響。

表 4 為三國於不同分配模式下總減量成本之估算。根據表 4 的結果可知，在進行排放交易之前，採用「國家主權分配模式」將使美國擁有最低的總減量成本，約為 4,949 百萬美元。對印度而言，「平等主義分配模式」之採用，在分配到充足的排放權利之下，總減量成本為 0。而對於中國，「GDR 分配模式」配合完全反應能力組合的 $a=0.0$ 及 $b=1.0$ 權數組合，將帶來最低的總減量成本，約為 2,284 百萬美元。此外，表 4 亦顯示，對中國而言，在「GDR 分配模式」下，由完全反應能力權數的 $a=0.0$ 開始逐一增加時，參與排放交易機制帶來的總減量成本之節省是遞減的；反之，在「GDR 分配模式」下，印度因參與排放交易機制帶來的總減量成本的節省則是遞增的。而當權數 a 高於 0.8 後，亦即偏向以責任為主的「GDR 分配模式」時，中國藉由出售排放權所得到的收益，將不足以彌補採用其他發方式所需支付的減量成本。

在開放各國進行排放交易後，採用「國家主權分配模式」的美國、採用「平等主義分配模式」之印度，以及採用「GDR 分配模式」之中國將扮演排放市場上的賣家，因此能夠藉由販賣排放權所得到之收益，以此結合採排放機制外的減量成本，最後在交易機制下，分別能獲得淨收益為 1,695、61,480 與 2,529 百萬美元，而上述對應的分配模式，即為最符合美國、印度與中國利益之分配模式。

表 4 美國、印度、中國於各分配模式下之總減量成本¹

分配模式	國家	排放交易機制下的相關成本				排放交易機制所節省 的總減量成本 (5)=(1)-(4)	
		排放交易前之 總減量成本 (1)	排放交易之收益 或成本支出 ^b (2)	各國採排放機制 外的減量成本 (3)	排放交易後的 總減量成本 (4)=(2)+(3)		
平等主義	美國	88,094	44,018	23,067	67,085	21,009	
	中國	30,077	13,181	13,730	26,911	3,166	
	印度	0	-65,723	4,243	-61,480	61,480	
國家主權	美國	4,949	-24,763	23,067	-1,695	6,644	
	中國	116,576	52,549	13,730	66,279	50,297	
	印度	8,906	3,808	4,243	8,051	855	
償付能力	美國	123,239	60,494	23,067	83,561	39,678	
	中國	315,280	104,115	13,730	117,845	197,435	
	印度	26,370	12,668	4,243	16,911	9,459	
污染者付費	美國	126,521	61,905	23,067	84,972	41,549	
	中國	320,126	105,122	13,730	118,852	201,274	
	印度	27,023	12,928	4,243	17,171	9,852	
GDR	a=0.0, b=1.0	美國	35,060	10,741	23,067	33,808	1,252
		中國	2,284	-16,259	13,730	-2,529	4,813
		印度	138	-6,954	4,243	-2,711	2,849
	a=0.1, b=0.9	美國	36,426	11,838	23,067	34,905	1,521
		中國	2,427	-15,913	13,730	-2,183	4,610
		印度	135	-6,973	4,243	-2,730	2,865
	a=0.2, b=0.8	美國	37,705	12,847	23,067	35,914	1,791
		中國	2,572	-15,574	13,730	-1,844	4,416
		印度	131	-6,992	4,243	-2,749	2,880

單位：百萬美元

表 4 美國、印度、中國於各分配模式下之總減量成本（續）

單位：百萬美元

分配模式	國家	排放交易前之 總減量成本 (1)	排放交易機制下的相關成本			排放交易機制所節 省的總減量成本 (5)=(1)-(4)
			排放交易之收益 或成本支出 ^b (2)	各國採排放機制 外的減量成本 (3)	排放交易後的 總減量成本 (4)=(2)+(3)	
GDR						
a=0.3, b=0.7	美國	39,029	13,873	23,067	36,941	2,088
	中國	2,728	-15,219	13,730	-1,489	4,217
	印度	125	-7,029	4,243	-2,786	2,911
a=0.4, b=0.6	美國	40,276	14,825	23,067	37,892	2,384
	中國	2,878	-14,887	13,730	-1,157	4,035
	印度	122	-7,048	4,243	-2,805	2,927
a=0.5, b=0.5	美國	41,442	15,700	23,067	38,768	2,674
	中國	3,023	-14,573	13,730	-843	3,866
	印度	119	-7,066	4,243	-2,823	2,942
a=0.6, b=0.4	美國	42,547	16,519	23,067	39,587	2,960
	中國	3,181	-14,240	13,730	-510	3,691
	印度	112	-7,104	4,243	-2,861	2,973
a=0.7, b=0.3	美國	43,627	17,309	23,067	40,377	3,250
	中國	3,339	-13,916	13,730	-186	3,525
	印度	110	-7,121	4,243	-2,878	2,988
a=0.8, b=0.2	美國	44,586	18,003	23,067	41,070	3,516
	中國	3,487	-13,620	13,730	110	3,377
	印度	104	-7,159	4,243	-2,916	3,020
a=0.9, b=0.1	美國	45,460	18,629	23,067	41,696	3,764
	中國	3,642	-13,316	13,730	414	3,228
	印度	98	-7,196	4,243	-2,953	3,051
a=1.0, b=0.0	美國	46,321	19,239	23,067	42,307	4,014
	中國	3,795	-13,023	13,730	707	3,088
	印度	95	-7,213	4,243	-2,970	3,065

資料來源：本本估計。

註：1. 正號表示為交易市場上的買家，需要付出成本；負號則表示為交易市場上的賣家，因而可以獲取收益。

比較上述結果可以發現，印度在交易前最低總減量成本與交易前後的最高成本節省，皆出現在「平等主義分配模式」下。因此若欲說服印度加入承諾減量與參與排放交易之行列，採用「平等主義分配模式」預期將會遭遇較少的阻礙。然而，對於美國與中國而言，雖然在交易前後藉由排放交易市場所達成之成本有效性，將使最高的成本節省皆出現於與世界立場一致的「污染者付費分配模式」下，但由於交易後的最低平均總減量成本分別出現在「國家主權分配模式」與「GDR 分配模式」，因此也預期若欲以「污染者付費模式」說服美國與中國加入排放市場交易時，將遭遇較多的阻礙。

VI、結 論

本文依各種公平原則內涵，建構了考量 CO₂ 排放權交易市場機制，在「平等主義」、「國家主權」、「償付能力」、「污染者付費」與不同責任及能力權數組合的「GDR」等，五大類排放權利分配模式，進行跨國參與排放權交易前後的總減量成本模擬分析。同時將國家依發展程度，模擬分析不同發展群組國在不同公平性原則下，比較有無參與排放權交易之總減量成本的差異，並分析各群組國家參與排放減量之誘因與傾向。最後，同樣的模擬過程亦用於分析世界上的三大排放大國美國、中國與印度。

模擬結果顯示，站在世界整體立場進行檢視時，在進行排放交易前，採用「GDR 分配模式」中完全責任指標權數為 1 時，將會有最低的世界總減量成本。在考慮排放權交易市場，並假定其為完全競爭、且沒有交易成本之前提下，不同的分配模式將因排放交易機制之成本有效性，確實一如理論預期，得到一致的總減量成本。其次，「污染者付費分配模式」在交易前後，將為世界整體帶來最高的成本節省，就參與排放交易與否的角度來看，此分配模式提供了較高的誘因，使世界整體在分配初始排放權後有更大的意願參與跨國排放交易，因此該分配模式將為最符合世界整體利益的分配模式。

其次，藉由檢視各發展群組國家在不同分配模式下的總減量成本可得知，對發展程度不同的國家，在參與交易前，各自對應帶來最低減量成本之不同公平準則。對發展程度最高的國家（HCs），「國家主權分配模式」是這一群國家所傾向採用的公平原則；「污染者付費分配模式」則為中高發展程度國家（UMCs）的最佳選擇；中低發展程度國家（LMCs）則是「GDR 分配模式」，在責任權數為 0.3 及能力權數為 0.7 之組合時；而配合完全以「GDR 分配模式」中能力指標權重為 1 時，則為最低發展國家群組（LCs）的最佳公平選擇準則。

當參與排放交易機制後，高所得國家能由「國家主權分配模式」得到最低的平均總減量成本；同樣的情況對中高與中低所得國家而言，出現於「污染者付費分配模式」之下，而對低所得國家來說，則是「平等主義分配模式」。然而，由於對世界整體而言，傾向採用的是「污染者付費模式」，在此一公平準則之下，唯有對中高與中低發展群組國家是與世界整體的立場一致。由此可見，若欲於未來採用「污染者付費分配模式」，中高與中低這二類群組國家將有比較大的簽署可能。

最後，在美國、印度與中國於不同分配模式下的減量總成本模擬估算可知，在執行排放權交易前，站在個別國家的立場，「國家主義分配模式」、「平等主義分配模式」及完全以能力為權數的「GDR 分配模式」，是這些國家在最低總減量成本下所對應的分配模式。而依循著這些準則參與排放交易機制，將為各國帶來顯著的減量總成本之減少。然而，若由未參與及參與排放權交易機制的制度轉換來看，印度在參與交易後的最低總減量成本同樣是發生於「平等主義分配模式」下；換言之，若採用此原則，將較能說服印度加入排放交易市場之行列。同理，對於美國與中國來說，參與排放權交易後之最低總減量成本分別發生於「國家主權分配模式」與完全以能力為權數的「GDR 分配模式」下，二者皆與站在世界整體立場所欲採用的「污染者付費分配模式」有所衝突。綜合而言，欲以「污染者付費分配模式」促使這三國參與排放交易，其困難度是相對的高。

當然，目的結論是在本文所選擇的某一特定的成本函數下，不同的成本函數選擇可能會產生不同的結果。然而，對於不同所得群組所代表的不同經濟發展伴隨而來的 CO₂ 之排放，在各國要兼顧經濟發展，又要面對國際對於 CO₂ 之降低可能採取的諸多政策下，站在個別國家以較小的成本達成減量的目標，及站在世界整體的立場，以最大成本的節省擬推動一個新制度的運行，本文所提供的分析架構，並不因其中特定環節的不同，而有礙本文首要目標，在針對單一國家、屬於特定所得群組國家及世界整體，在選擇 CO₂ 排放公平準則可能產生之差異的探討。

附註

1. 根據剛於 2009 年底所完成之哥根哈根會議決議，京都議定書附件 B 國家所承諾的減量目標 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007) 必須於 2020 年前完成 (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2009)。
2. 蕭代基、張瓊婷與郭彥廉 (2003) 曾以參與式自然資源管理制度之設計為例，提出「貢獻與權利相符原則」(Principle of Interest-Participation) 做為利益相關者之權益分配基礎。根據該原則，特定利益相關者所享有之權利權重，主要來自於對該資源所連結的政策目標之貢獻程度。基本上，貢獻越大的利益相關者，就能分到越大權重的權益。應用於跨國減碳議題上，由於現今經濟發展程度較高的國家，也多是過去使用較多石化能源者。在此前提下，若將現狀下所享有的經濟發展程度視為特定國家所享有的「權益」，則在面對減量的政策目標時，亦需承擔較多的責任做為「貢獻」。因此，此原則的操作性內涵，亦預期將與文中原本已有的「償付能力」或「污染者付費」原則所得到的分配模式雷同。
3. Rose *et al.* (1998) 曾將對應各種公平原則的排放權利分配模式區分為「分配基礎原則」(Allocation-Based Principles) 與「結果基礎原則」(Outcome-Based Principles) 二大類。根據本文的需求，我們選擇「分配基礎原則」的各項模式來進行後續模擬分析。
4. 國際能源總署於世界能源展望報告中，對於 BAU 排放量的估測間隔為每五年一次。2010 年為報告書中所有估測值最接近京都議定書執行期限 2012 年的資料點，因此本本選擇 2010 年的 BAU 排放量做為後續模擬分析之基準。
5. 國際上目前對於此部分的衝擊影響衡量，主要是衡量每單位溫室氣體排放對總體經濟所帶來之衝擊。也就是估算出碳的社會成本 (Social Cost of Carbon, 以下簡稱 SCC)，即是在衡量多排放一單位 CO₂ 對整體經濟造成的邊際影響 (Pearce, 2003; Yohe *et al.*, 2007)。換言之，當我們在討論國家層級的總減量成本問題時，其成本內涵是以經濟產出表示在廣義的經濟成本。而不只是狹義技術改變所產生的成本變動。然而，依不同內涵所估算得到的 MAC 與經濟發展程度之間的互動關係恰好相反。舉例而言，一般經濟發展程度較高的國家，普遍也擁有較佳的技術水準；在這前提下，每減量一單位所須付出的技術成本較相對較低。反之，從另一個角度來說，經濟發展較高的國家因為技術水準較佳，因此將一單位的資源投入由生產轉換至減量之使用，其所付出的機會成本也較低技術水準的國家來得高。由於本文是採用經濟成本做為 MAC 之詮釋，因此也將觀察到經濟發展程度越高、對應的減量代價也越大之結果。

6. 根據 Färe、Grosskopf 與 Herandez-Sancho (2004) 之作法，該研究除了採用本文的數學規劃求解方法外，尚利用隨機參數估計法 (Stochastic Method) 求解(15-1)式。但由於利用隨機參數估計法所得到之估計結果，可能致使部分樣本代入所得到的預測值無法滿足(15-3)至(15-7)的單調限制條件，而必須將這些樣本排除於後續的分析之外。換言之，利用隨機參數法求解類似問題時，必定將損失程度不一的樣本資訊，進而使得分析結果亦同時受到影響。而本文在利用隨機參數法進行估計時，確實也遭遇到上述問題；因而，為了兼顧分析結果之代表性，本文最後選擇數學規劃法的求解結果來進行後續之相關分析，並將估計結果列於附表 1。
7. 估算 RCI 指標時，主要是採用 GDR 第二版報告書所提供的 RCI 指標計算程式 (GDRs Calculator) (EcoEquity & Stockholm Environment Institute, 2009)。由於計算 RCI 指標所需的所有相關資料庫已包含在此一程式中，因此並不需要額外再收集相關變數。

參考文獻

- 行政院主計處，2009。中華民國統計資訊網。取自<http://www.stat.gov.tw/mp.asp?mp=4>。
- 行政院經濟部能源局，2009。『能源統計年報』。台北：行政院經濟部能源局。取自<http://www.moeaec.gov.tw/opengovinfo/Plan/all/WorkStatisticsAll.aspx>。
- 蕭代基、張瓊婷、郭彥廉，2003。「自然資源的參與式管理與地方自治制度」，『臺灣經濟預測與政策』，34卷，1期，1-37。
- Agarwal, A. and S. Narian, 2002. "The Atmospheric Rights of All People on Earth," 取自http://www.vwo-campus.net/downloads/pws5_atmospheric_rights.pdf。
- Aslam, M. A., 2001. "International Greenhouse Gas Emissions Trading and Issues Related to Voluntary Participation by Developing Countries," United Nations Foundation. A006 TAD GLO 98025. 取自 <http://www.unctad.org/en/docs/poditctedm9.en.pdf>。
- Baer, P., T. Athanasiou, S. Kartha, and E. Kemp-Benedict, 2008. *The Greenhouse Development Rights Framework: The Right to Development in A Climate Constrained World*. Berlin: Heinrich Böll, Christian Aid, EcoEquity, and Stockholm Environment.
- Berk, M. and M. den Elzen, 2001. "Options for Differentiation of Future Commitments in Climate Policy: How to Realize Timely Participation to Meet Stringent Climate Goals?." *Climate Policy*. 52: 1-16.
- 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.
- Cramton, P. and S. Kerr, 2002. "Tradeable Carbon Permit Auctions How and Why to Auction not Grandfather," *Energy Policy*. 30: 333-345.
- Coase, R. H., 1960. "The problem of social cost," *Journal of Law and Economics*. 3: 1-44.
- Dales, J. H., 1968. *Pollution, Property and Prices*. Toronto: University of Toronto Press.
- Dinan, T. and D. L. Rogers, 2002. "Distributional Effects of Carbon Allowances Trading: How Government Decisions Determine Winners and Losers," *National Tax Journal*. 55: 199-221.

- EcoEquity and Stockholm Environment Institute, 2009. *Greenhouse Development Rights Online Calculator*. 取自 <http://www.gdrights.org/interactive/basic>。
- Edmonds, J. S., N. Caputi, M. J. Moran, W. J. Fletcher, and M. Morita, 1995. "Population Discrimination by Variation in Concentrations of Minor and Trace Elements in Sagittae of Two Western Australian Teleosts," In *Recent Developments in Fish Otolith Research*. Edited by D. H. Secor, J. M. Dean, and S. E. Campana. Columbia: University of South Carolina Press.
- Eyckmans, J., J. Cornillie, and V. Regemorter, 2002. "Efficiency and Equity of the EU Burden Sharing Agreement," Environment Working Papers Series, Ete0002. 取自 <http://www.econ.kuleuven.ac.be/ew/academic/energimil/downloads/ete-wp00-2.pdf>。
- Färe, R., S. Grosskopf, and F. Herandez-Sancho, 2004. "Environmental Performance: An Index Number Approach," *Resource and Energy Economics*. 26: 343-352.
- Färe, R., S. Grosskopf, and W. L. Weber, 2006. "Shadow Prices and Pollution Costs in U.S. Agriculture," *Ecological Economics*. 56: 89-103.
- Fletcher, S., 2001. "Global Climate Change: The Kyoto Protocol," CRS report RL30692. Congressional Research Service. 取自 <http://ncseonline.org/nle/crsreports/05Feb/RL30692.pdf>。
- Gupta, J., 2003. "Engaging Developing Countries in Climate Change: (KISS and Make-up!)," In *Climate Policy for the 21st Century: Meeting the Long-Term Challenge of Global Warming*. Edited by M. David. Washington, D.C.: Center for Transatlantic Relations.
- Haites, E. and F. Yamin, 2000. "The Clean Development Mechanism: Proposals for Its Operation and Governance," *Global Environmental Change*. 10: 27-45.
- Höhne, N., C. Galleguillos, K. Blok, J. Harnisch, and D. Phylipsen, 2003. "Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving Newly Industrialized Economies and Developing Countries," Research Report 20141255, UBA-FB 000412. ECOFYS GmbH, Federal Environmental Agency. 取自 <http://www.chem.uu.nl/nws/www/publica/Publicaties2003/e2003-155.pdf>。
- International Energy Agency, 2007. *World Energy Outlook 2007: China and India Insights*. Paris: International Energy Agency.

- Klepper, G. and S. Peterson, 2004. "The EU Emissions Trading Scheme Allowance Price, Trade Flows and Competitiveness Effects," *European Environment*. 14: 201-218.
- Kuik, O., 2003. "Climate Change Policies, Energy Security and Carbon Dependency: Trade-Offs for the European Union in the Longer Term," *International Environmental Agreement: Politics, Law and Economics*. 3: 221-242.
- Krupnick, A. J., W. E. Oates, and E. Van De Verg, 1983. "On Marketable Air-Pollution Permits: The Case for a System of Pollution Offsets," *Journal of Environmental Economics and Management*. 10: 233-247.
- Larsen, B. and A. Shah, 1994. "Global Tradable Carbon Permits, Participation Incentives, and Transfers," *Oxford Economic Papers*. 46: 841-856.
- Miketa, A. and L. Schratzenholzer, 2006. "Equity Implications of Two Burden-Sharing Rules for Stabilizing Greenhouse-Gas Concentrations," *Energy Policy*. 34: 877-891.
- Montgomery, W. D., 1972. "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs," *Journal of Economic Theory*. 5: 395-418.
- Ott, H., 1998. "Operationalizing 'Joint Implementation'," *Global Environmental Change*. 8: 11-47.
- Parry, I. W. H., 2004. "Are Emissions Permits Regressive?" *Journal of Environmental Economics and Management*. 47: 364-387.
- Pearce, D., 2003. "The Social Cost of Carbon and It's Policy Implications," *Oxford Review of Economic Policy*. 19: 362-384.
- Pizer, W., D. Burtraw, W. Harrington, R. Newell, and J. Sanchirico, 2006. "Modelling Economic-Wide vs. Sectoral Climate Policies," *Energy Journal*. 27: 135-168.
- Ringius, L., A. Torvanger, and A. Underdal, 2002. "Burden Sharing and Fairness Principles in International Climate Policy," *International Environmental Agreement: Politics, Law and Economics*. 2: 1-22.
- Rose, A. and B. Steven, 1993. "The Efficiency and Equity of Marketable Permits for CO₂ Emissions," *Resource and Energy Economics*. 15: 117-146.
- Rose, A., S. Brandt, E. Jae, and M. Wise, 1998. "International Equity and Differentiation in Global Warming Policy," *Environmental and Resource Economics*. 10: 25-51.

- Shogren, J. and M. Toman, 2000. "Climate Change Policy," In *Public Policies for Environmental Protection*. Edited by P. Portney and R. Stavins. Washington, D. C.: Resources for the Future.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2009. Copenhagen Accord. 取自 http://unfccc.int/meetings/cop_15/items/5257.php。
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 取自 <http://www.greenhouse.gov.au/international/kyoto/>。
- United Nations Statistics Division, 2008. 取自 <http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnllist.asp>。
- Victor, D., 2001. *The Collapse of the Kyoto Protocol and the Struggle to Slow Global Warming*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Tietenberg, T. H., 1985. *Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy*. Washington: Resources for the Future.
- World Resource Institute, 2008. *The Climate Analysis Indicator Tool Database*. 取自 <http://cait.wri.org/>。
- Yohe, G. W., R. D. Lasco, Q. K. Ahmad, N. W. Arnell, S. J. Cohen, C. Hope, A. C. Janetos, and R. T. Perez, 2007. "Perspectives on Climate Change and Sustainability," In *Climate Change, 2007: Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, and C. E. Hanson. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yohe, G. W., D. Montgomery, and Ed. Balistreri, 2000. "Equity and the Kyoto Protocol: Measuring the Distributional Effects of Alternative Emissions Trading Regimes," *Global Environmental Change*. 10: 121-132.

附 錄

附表 1 方向性距離函數係數估計結果

係 數	變 數	係數估計結果
α_0	常數項	2.187
α_1	能源消費量(x_1)	-3.004
α_2	實質資本形成(x_2)	1.633
α_3	勞動投入量(x_3)	-1.915
β_1	實質 GDP(y)	-0.728
$\gamma_1 = \beta_1 + 1$	CO ₂ 排放量(b)	0.272
α_{11}	x_1^2	1.375
α_{12}	x_1x_2	0.611
α_{13}	x_1x_3	0.238
α_{22}	x_2^2	-0.302
α_{23}	x_2x_3	-1.741
α_{33}	x_3^2	2.897
$\beta_2 = \mu = \gamma_2$	y^2, yb, b^2	-0.402
$\delta_1 = \nu_1$	x_1y, x_1b	0.367
$\delta_2 = \nu_2$	x_2y, x_2b	0.160
$\delta_3 = \nu_3$	x_3y, x_3b	0.162

資料來源：本本估計。

附表 2 本文所涵蓋之樣本國家及其累積排放比例^{1, 2}

國家分類與名稱	累積比例	國家分類與名稱	累積比例
高所得國家 (HCs)		中低所得 (LMCs)	
盧森堡 (Luxembourg)*	0.07%	愛沙尼亞 (Estonia)*	0.11%
瑞士 (Switzerland)*	0.24%	匈牙利 (Hungary)*	0.37%
挪威 (Norway)*	0.16%	捷克 (Czech Republic)*	0.82%
瑞典 (Sweden)*	0.38%	馬來西亞 (Malaysia)	0.26%
丹麥 (Denmark)*	0.31%	墨西哥 (Mexico)	1.24%
芬蘭 (Finland)*	0.26%	巴西 (Brazil)	0.99%
冰島 (Iceland)*	0.01%	南非 (South Africa)	1.33%
日本 (Japan)*	4.82%	斯洛伐克 (Slovakia)*	0.28%
美國 (United States)	26.67%	俄羅斯 (Russian Federation)*	9.44%
奧地利 (Austria)*	0.32%	拉脫維亞 (Latvia)*	0.06%
德國 (Germany)*	5.74%	委內瑞拉 (Venezuela)	0.55%
法國 (France)*	2.29%	阿爾及利亞 (Algeria)	0.24%
加拿大 (Canada)*	2.21%	保加利亞 (Bulgaria)*	0.34%
荷蘭 (Netherlands)*	0.80%	立陶宛 (Lithuania)*	0.09%
比利時 (Belgium)*	0.70%	泰國 (Thailand)	0.37%
澳大利亞 (Australia)*	1.19%	波蘭 (Poland)*	1.93%
義大利 (Italy)*	1.83%	伊朗 (Iran)	0.84%
愛爾蘭 (Ireland)*	0.15%	白俄羅斯 (Belarus)	0.42%
英國 (United Kingdom)*	3.61%	羅馬尼亞 (Romania)*	0.71%
西班牙 (Spain)*	1.02%	哈薩克 (Kazakhstan)	1.05%
紐西蘭 (New Zealand)*	0.12%	哥倫比亞 (Colombia)	0.23%
		烏克蘭 (Ukraine)*	2.40%
HCs 總和	52.9%	LMCs 總和	24.07%
中高所得國家 (UMCs)		低所得國家 (LCs)	
台灣 (Taiwan)	0.52%	印度 (India)	2.59%
希臘 (Greece)*	0.28%	埃及 (Egypt)	0.34%
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	0.69%	中國 (China)	9.88%
南韓 (South Korea)	1.00%	烏茲別克 (Uzbekistan)	0.63%
葡萄牙 (Portugal)*	0.17%	巴基斯坦 (Pakistan)	0.26%
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	0.06%	印尼 (Indonesia)	0.66%
阿根廷 (Argentina)	0.56%		
克羅埃西亞 (Croatia)*	0.08%		
UMCs 總和	3.36%	LCs 總和	14.36%

資料來源：本本整理自 World Resource Institute (2008)。

註 1. 各國家主要依照平均每人每年 GDP 來加以排序。

2. 國家名稱上標「*」者為京都議定書的附件 B 國家，其中由於摩洛哥 (Morocco) 與列支敦士登 (Liechtenstein) 的資料有所缺漏，因此未包含在其中。

附表3 各樣本國之BAU排放量、均衡減量與MAC曲線斜率^{1, 2, 3}

國家分類與名稱	BAU 排放量	均衡減量	MAC 斜率
高所得國家 (HCs)			
盧森堡 (Luxembourg)*	3080	1151.49	0.00005990
瑞士 (Switzerland)*	11930	5043.34	0.00001368
挪威 (Norway)*	11200	5197.52	0.00001327
瑞典 (Sweden)*	13640	6043.51	0.00001141
丹麥 (Denmark)*	13460	6576.53	0.00001049
芬蘭 (Finland)*	14790	6884.91	0.00001002
冰島 (Iceland)*	740	250.43	0.00027544
日本 (Japan)*	344130	141309.00	0.00000049
美國 (United States)	1636830	668829.00	0.00000010
奧地利 (Austria)*	20660	7600.47	0.00000908
德國 (Germany)*	226490	102195.00	0.00000067
法國 (France)*	108100	44602.70	0.00000155
加拿大 (Canada)*	164830	62960.20	0.00000110
荷蘭 (Netherlands)*	45650	17880.80	0.00000386
比利時 (Belgium)*	32000	12555.60	0.00000549
澳大利亞 (Australia)*	108240	38762.20	0.00000178
義大利 (Italy)*	128020	50779.20	0.00000136
愛爾蘭 (Ireland)*	12270	4574.95	0.00001508
英國 (United Kingdom)*	144670	70335.30	0.00000098
西班牙 (Spain)*	95560	31883.10	0.00000216
紐西蘭 (New Zealand)*	10110	3489.65	0.00001977
中高所得國家 (UMCs)			
台灣 (Taiwan)	102920	22305.10	0.00000309
希臘 (Greece)*	28620	10231.70	0.00000674
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	138700	34697.30	0.00000199
南韓 (South Korea)	150840	46302.50	0.00000149
葡萄牙 (Portugal)*	17620	6469.07	0.00001066
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	4700	1776.91	0.00003882
阿根廷 (Argentina)	45020	15481.50	0.00000446
克羅埃西亞 (Croatia)*	6610	2500.68	0.00002758

附表 3 各樣本國之 BAU 排放量、均衡減量與 MAC 曲線斜率 (續)

國家分類與名稱	BAU 排放量	均衡減量	MAC 斜率
中低所得 (LMCs)			
愛沙尼亞 (Estonia)*	5120	2295.03	0.00003006
匈牙利 (Hungary)*	17340	7124.43	0.00000968
捷克 (Czech Republic)*	35310	15275.70	0.00000452
馬來西亞 (Malaysia)	56280	13684.00	0.00000504
墨西哥 (Mexico)	120560	51076.50	0.00000135
巴西(Brazil)	110720	34671.00	0.00000199
南非 (South Africa)	127120	45569.00	0.00000151
斯洛伐克 (Slovakia)*	11150	4851.28	0.00001422
俄羅斯 (Russian Federation)*	488350	194804.00	0.00000035
拉脫維亞 (Latvia)*	2120	1073.77	0.00006424
委內瑞拉 (Venezuela)	46450	18844.70	0.00000366
阿爾及利亞 (Algeria)	26430	15399.50	0.00000448
保加利亞 (Bulgaria)*	18610	6176.98	0.00001117
立陶宛 (Lithuania)*	4010	1889.40	0.00003651
泰國 (Thailand)	84740	22229.50	0.00000310
波蘭 (Poland)*	91560	39506.90	0.00000175
伊朗 (Iran)	151590	38539.10	0.00000179
白俄羅斯 (Belarus)	15510	8374.01	0.00000824
羅馬尼亞 (Romania)*	30990	13146.30	0.00000525
哈薩克 (Kazakhstan)	59500	21930.30	0.00000315
哥倫比亞 (Colombia)	18060	7304.02	0.00000944
烏克蘭 (Ukraine)*	90160	48127.90	0.00000143
低所得國家 (LCs)			
印度 (India)	400640	123025.00	0.00000056
埃及 (Egypt)	48530	13688.00	0.00000504
中國 (China)	2001390	398099.00	0.00000017
烏茲別克 (Uzbekistan)	35440	14754.60	0.00000468
巴基斯坦 (Pakistan)	43960	11473.90	0.00000601
印尼 (Indonesia)	130100	39719.00	0.00000174
均衡價格：68.97 美元/公噸			

資料來源：本本估計。

1. 各國家主要依照平均每人每年 GDP 來加以排序。
2. 國家名稱上標「*」者為京都議定書的附件 B 國家，其中由於摩洛哥 (Morocco) 與列支敦士登 (Liechtenstein) 的資料有所缺漏，因此未包含在其中。
3. 單位皆為千公噸。

附表 4 各樣本國於不同公平原則下之分配權數^{1,2}

國家分類與名稱	平等主義	國家主權	償付能力	使用者付費	GDR a=1	GDR a=0.9	GDR a=0.8	GDR a=0.7	GDR a=0.6	GDR a=0.5	GDR a=0.4	GDR a=0.3	GDR a=0.2	GDR a=0.1	GDR a=0
高所得國家 (HCs)															
盧森堡 (Luxembourg)*	0.000095	0.000430	0.016843	0.017849	0.000741	0.000739	0.000738	0.000738	0.000842	0.000842	0.000841	0.000841	0.000840	0.000841	0.000841
瑞士 (Switzerland)*	0.001509	0.002045	0.017329	0.017821	0.002539	0.002851	0.003165	0.003374	0.003791	0.004104	0.004523	0.004836	0.005357	0.005780	0.006305
挪威 (Norway)*	0.000948	0.001614	0.017150	0.017828	0.002539	0.002746	0.002954	0.003163	0.003475	0.003789	0.004102	0.004415	0.004832	0.005149	0.005569
瑞典 (Sweden)*	0.001835	0.002690	0.017377	0.017809	0.003068	0.003379	0.003692	0.004006	0.004317	0.004631	0.005049	0.005467	0.005882	0.006410	0.006830
丹麥 (Denmark)*	0.001088	0.002690	0.017347	0.017809	0.003279	0.003379	0.003481	0.003585	0.003685	0.003789	0.003892	0.003995	0.004097	0.004203	0.004308
芬蘭 (Finland)*	0.001057	0.002798	0.017396	0.017807	0.003279	0.003379	0.003376	0.003479	0.003475	0.003578	0.003681	0.003680	0.003782	0.003783	0.003783
冰島 (Iceland)*	0.000060	0.000108	0.017338	0.017855	0.000106	0.000211	0.000211	0.000211	0.000211	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210
日本 (Japan)*	0.025336	0.054778	0.017406	0.016879	0.065799	0.067800	0.069839	0.072008	0.073918	0.075984	0.077943	0.079899	0.081723	0.083544	0.085321
美國 (United States)	0.062555	0.251722	0.017242	0.013362	0.358828	0.355476	0.352041	0.348234	0.343898	0.339402	0.334596	0.329373	0.323739	0.318201	0.312178
奧地利 (Austria)*	0.001667	0.003121	0.017344	0.017801	0.004020	0.004224	0.004431	0.004744	0.004949	0.005262	0.005470	0.005782	0.006092	0.006410	0.006725
德國 (Germany)*	0.016305	0.041218	0.017388	0.017121	0.048344	0.049530	0.050638	0.051766	0.052859	0.053883	0.054907	0.055824	0.056723	0.057587	0.058422
法國 (France)*	0.012399	0.017757	0.017399	0.017540	0.022638	0.024184	0.025952	0.027728	0.029483	0.031467	0.033554	0.035639	0.037815	0.040143	0.042555
加拿大 (Canada)*	0.006716	0.023138	0.017338	0.017444	0.032265	0.031894	0.031543	0.031102	0.030641	0.030099	0.029662	0.029121	0.028466	0.027953	0.027320
荷蘭 (Netherlands)*	0.003271	0.008179	0.017333	0.017711	0.009732	0.010138	0.010550	0.010859	0.011267	0.011682	0.011991	0.012405	0.012710	0.013136	0.013450
比利時 (Belgium)*	0.002112	0.005489	0.017378	0.017759	0.006770	0.006970	0.007068	0.007169	0.007265	0.007367	0.007468	0.007569	0.007668	0.007776	0.007776
澳大利亞 (Australia)*	0.004277	0.014636	0.017400	0.017596	0.020734	0.020277	0.019939	0.019504	0.019059	0.018628	0.018092	0.017662	0.017122	0.016709	0.016182
義大利 (Italy)*	0.011741	0.020232	0.017435	0.017496	0.024331	0.025451	0.026585	0.027833	0.028957	0.030204	0.031345	0.032590	0.033824	0.034994	0.036251
愛爾蘭 (Ireland)*	0.000908	0.001830	0.017328	0.017824	0.002645	0.002746	0.002954	0.003057	0.003159	0.003262	0.003366	0.003574	0.003676	0.003783	0.003888
英國 (United Kingdom)*	0.012220	0.025291	0.017386	0.017406	0.030890	0.032210	0.033442	0.034792	0.036117	0.037361	0.038708	0.040055	0.041387	0.042665	0.044026
西班牙 (Spain)*	0.009031	0.012807	0.017459	0.017628	0.016714	0.017636	0.018462	0.019399	0.020322	0.021364	0.022299	0.023339	0.024370	0.025431	0.026479
紐西蘭 (New Zealand)*	0.000860	0.001399	0.017500	0.017832	0.001693	0.001795	0.001793	0.001898	0.001895	0.001894	0.001999	0.001997	0.002101	0.002102	0.002102

附表 4 各樣本國於不同公平原則下之分配權數 (續)

國家分類與名稱	平等主義	國家主權	償付能力	使用者付費	GDR a=1	GDR a=0.9	GDR a=0.8	GDR a=0.7	GDR a=0.6	GDR a=0.5	GDR a=0.4	GDR a=0.3	GDR a=0.2	GDR a=0.1	GDR a=0
中高所得國家 (UMCs)															
台灣 (Taiwan)	0.004849	0.009148	0.017455	0.017694	0.014175	0.014574	0.014980	0.015393	0.015794	0.016207	0.016619	0.016926	0.017332	0.017654	0.018073
希臘 (Greece)*	0.002230	0.004090	0.017413	0.017784	0.005395	0.005597	0.005802	0.006009	0.006318	0.006525	0.006732	0.006939	0.007143	0.007356	0.007565
沙烏地阿拉伯 (Saudi Arabia)	0.005136	0.011515	0.017534	0.017652	0.018936	0.018165	0.017407	0.016552	0.015794	0.015049	0.014410	0.013667	0.013025	0.012295	0.011663
南韓 (South Korea)	0.009739	0.018511	0.017538	0.017527	0.021052	0.021227	0.021416	0.021508	0.021586	0.021574	0.021668	0.021657	0.021534	0.021543	0.021435
葡萄牙 (Portugal)*	0.002133	0.002583	0.017556	0.017811	0.002856	0.002957	0.003059	0.003163	0.003369	0.003473	0.003576	0.003785	0.003887	0.003993	0.004098
斯洛維尼亞 (Slovenia)*	0.000398	0.000646	0.017468	0.017846	0.000846	0.000845	0.000844	0.000843	0.000948	0.000947	0.000947	0.001051	0.001050	0.001051	0.001156
阿根廷 (Argentina)	0.008083	0.005919	0.017690	0.017751	0.005395	0.005703	0.005908	0.006115	0.006318	0.006525	0.006732	0.006939	0.007143	0.007356	0.007565
克羅埃西亞 (Croatia)*	0.000878	0.000861	0.017631	0.017842	0.000741	0.000845	0.000844	0.000843	0.000948	0.000947	0.000947	0.001051	0.001050	0.001051	0.001156
中低所得 (LMCs)															
愛沙尼亞 (Estonia)*	0.000262	0.000861	0.017569	0.017842	0.000846	0.000845	0.000844	0.000738	0.000737	0.000737	0.000631	0.000631	0.000630	0.000525	0.000525
匈牙利 (Hungary)*	0.001975	0.002798	0.017564	0.017807	0.002539	0.002640	0.002743	0.002741	0.002843	0.002947	0.002945	0.003049	0.003151	0.003153	0.003257
捷克 (Czech Republic)*	0.002035	0.005811	0.017513	0.017753	0.006136	0.005914	0.005697	0.005588	0.005370	0.005262	0.005049	0.004836	0.004727	0.004519	0.004308
馬來西亞 (Malaysia)	0.005543	0.004735	0.017659	0.017773	0.005924	0.006020	0.006119	0.006220	0.006212	0.006314	0.006416	0.006413	0.006513	0.006515	0.006515
墨西哥 (Mexico)	0.021632	0.016573	0.017690	0.017561	0.014916	0.015419	0.015824	0.016342	0.016742	0.017154	0.017566	0.017977	0.018382	0.018810	0.019124
巴西 (Brazil)	0.039509	0.013237	0.017730	0.017621	0.012165	0.013095	0.014137	0.015182	0.016321	0.017470	0.018723	0.019975	0.021324	0.022804	0.024272
南非 (South Africa)	0.009615	0.013560	0.017721	0.017615	0.015022	0.013940	0.012976	0.012019	0.011056	0.010208	0.009467	0.008726	0.007983	0.007356	0.006725
斯洛伐克 (Slovakia)*	0.001071	0.002045	0.017588	0.017821	0.001798	0.001795	0.001793	0.001792	0.001790	0.001684	0.001683	0.001682	0.001681	0.001681	0.001576
俄羅斯 (Russian Federation)*	0.027710	0.077163	0.017654	0.016479	0.062097	0.058084	0.054331	0.050817	0.047383	0.044201	0.041128	0.038267	0.035504	0.032997	0.030577
拉脫維亞 (Latvia)*	0.000444	0.000430	0.017627	0.017849	0.000317	0.000422	0.000422	0.000422	0.000421	0.000526	0.000526	0.000526	0.000630	0.000631	0.000630
委內瑞拉 (Venezuela)	0.005729	0.006242	0.017709	0.017746	0.005395	0.005280	0.005169	0.005061	0.005054	0.004946	0.004733	0.004626	0.004517	0.004414	0.004308
阿爾及利亞 (Algeria)	0.007027	0.003767	0.017743	0.017790	0.001587	0.001584	0.001582	0.001581	0.001579	0.001579	0.001473	0.001472	0.001471	0.001471	0.001471

附表 4 各樣本國於不同公平原則下之分配權數 (續)

國家分類與名稱	平等主義	國家主權	償付能力	使用者付費	GDR a=1	GDR a=0.9	GDR a=0.8	GDR a=0.7	GDR a=0.6	GDR a=0.5	GDR a=0.4	GDR a=0.3	GDR a=0.2	GDR a=0.1	GDR a=0
保加利亞 (Bulgaria)*	0.001483	0.002368	0.017679	0.017815	0.001587	0.001479	0.001477	0.001371	0.001369	0.001263	0.001262	0.001156	0.001155	0.001051	0.001051
立陶宛 (Lithuania)*	0.000659	0.000753	0.017611	0.017844	0.000635	0.000739	0.000738	0.000738	0.000842	0.000842	0.000841	0.000946	0.000945	0.000946	0.001051
泰國 (Thailand)	0.012930	0.007533	0.017731	0.017723	0.005395	0.005492	0.005591	0.005799	0.005897	0.005999	0.006101	0.006203	0.006303	0.006410	0.006515
波蘭 (Poland)*	0.007521	0.015067	0.017625	0.017588	0.013118	0.012673	0.012238	0.011808	0.011372	0.010945	0.010519	0.010093	0.009664	0.009248	0.008826
伊朗 (Iran)	0.014681	0.014313	0.017709	0.017602	0.011637	0.011511	0.011288	0.011070	0.010846	0.010629	0.010413	0.010093	0.009874	0.009563	0.009352
白俄羅斯 (Belarus)	0.001889	0.003229	0.017708	0.017799	0.001587	0.001584	0.001582	0.001476	0.001474	0.001368	0.001367	0.001367	0.001261	0.001261	0.001156
羅馬尼亞 (Romania)*	0.004208	0.005166	0.017695	0.017765	0.003491	0.003485	0.003481	0.003374	0.003369	0.003368	0.003261	0.003259	0.003256	0.003153	0.003152
哈薩克 (Kazakhstan)	0.003125	0.007533	0.017715	0.017723	0.005289	0.004858	0.004431	0.004006	0.003580	0.003262	0.002945	0.002733	0.002416	0.002207	0.001996
哥倫比亞 (Colombia)	0.009510	0.002906	0.017768	0.017805	0.001798	0.001901	0.002004	0.002214	0.002317	0.002526	0.002630	0.002839	0.003046	0.003153	0.003362
烏克蘭 (Ukraine)*	0.009008	0.017865	0.017759	0.017538	0.004972	0.004541	0.004114	0.003690	0.003369	0.003052	0.002840	0.002523	0.002311	0.002102	0.001891
低所得國家 (LCs)															
印度 (India)	0.233415	0.042187	0.017819	0.017104	0.006982	0.007076	0.007279	0.007486	0.007581	0.007788	0.007889	0.007990	0.008193	0.008302	0.008406
埃及 (Egypt)	0.015783	0.005381	0.017787	0.017761	0.001693	0.001690	0.001688	0.001792	0.001790	0.001789	0.001788	0.001787	0.001786	0.001786	0.001891
中國 (China)	0.267872	0.159600	0.017778	0.015007	0.079234	0.077622	0.075957	0.074328	0.072549	0.070722	0.069002	0.067178	0.065231	0.063367	0.061469
烏茲別克 (Uzbekistan)	0.005578	0.005381	0.017825	0.017761	0.000741	0.000634	0.000527	0.000422	0.000421	0.000316	0.000316	0.000210	0.000210	0.000210	0.000105
巴基斯坦 (Pakistan)	0.033953	0.004305	0.017820	0.017780	0.000106	0.000106	0.000105	0.000105	0.000211	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210	0.000210
印尼 (Indonesia)	0.046367	0.011946	0.017801	0.017644	0.002645	0.002640	0.002743	0.002741	0.002843	0.002842	0.002945	0.002944	0.003046	0.003047	0.003047

資料來源：本本估計。

註：1. 各國家主要依照平均每人每年 GDP 加以排序。

2. 國家名稱上標「*」者為京都議定書的附件 B 國家，其中由於摩洛哥 (Morocco) 與列支敦士登 (Liechtenstein) 的資料有所缺漏，因此未包含在其中。

Initial Rights CO₂ Emission Allocation under Emission Trading Scheme: The Discrepancy between Country and World with Different Equity Criteria

Je-Liang Liou^{*} and Pei-Ing Wu^{**}

The purposes of this study are firstly to construct an operational equitable initial rights allocation model. Then, it is to determine the equity principle under cost effectiveness for countries with different levels of economic development. The same analytic process is applied to China, India, and the United States.

The results show that the attractiveness for the groups of upper middle-income and low middle-income countries to join the emission reduction array are much easier than the other groups of the countries since the lowest total abatement cost for those groups with emission trading will occur at the same equity criterion as those without emission trading. As with China, India, and the United States, the lowest cost occurs at full capacity weight of GDR framework, egalitarian, and sovereignty respectively. It is thus a challenge to bring those three countries into the emission trading array due to such equity discrepancy between individual country and the world as a whole.

Keywords: *Directional Distance Function, Egalitarian, Sovereignty, Ability to Pay, Polluter Pay, Greenhouse Development Rights Framework*

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

** Professor, Department of Agricultural Economics National Taiwan University. (Corresponding Author)

This paper funded by the National Science Council of Taiwan through project NSC 98-2410-H-002-056 is sincerely appreciated. The authors would like to thank the anonymous referees for the valuable comments. If there are any careless mistakes in the article, the authors will be respondent for those.