

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟學系

碩士論文

Department of Agricultural Economics

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

不同國際結盟下碳排放交易制度之

成本有效性與交易價格之分析

Analyses of Cost Effectiveness and Trading Price

under Different Alliances of Countries with

Carbon Emission Trading Scheme

林宗昱

Tsung-Yu Lin

指導教授：吳珮瑛 博士

Advisor：Pei-Ing Wu, Ph.D.

中華民國 98 年 7 月

July, 2009

## 謝辭

兩年的研究生活即將告一段落，在接受大家道賀的同時，更感激在這過程中許許多多幫助過我的人。其中最感謝的為我的指導老師 吳珮瑛教授，每當我論文進度出現挫折時，感謝老師總是不厭其煩的提醒以及指引我正確的方向，讓我能克服困難；在論文的寫作上，感謝老師耐心的一遍又一遍幫我修改文章，使我的論文結構能更加清楚與完整。無論是在學術或是做人處事上，老師嚴謹及積極的態度都給我很大的教導和啟發。同時感謝 張四立教授與 廖肇寧教授在百忙之中抽空撥冗審閱論文，以及在口試時給予許多的寶貴意見與指導。

另外，感謝在這兩年與我一起努力的好夥伴們，感謝哲良學長在我無助時的鼓勵及協助，以及阿貴與柏亨一路相挺與幫助，每次的meeting大家總是絞盡腦汁提供許多寶貴的意見，適時的糾正我直到論文完成。還有感謝111室友銘席哥、柯柯、婉嘉、偉真、綾憶、鈞婷、書綺以及109和113大夥們的支持，因為有你們的關心，讓我在這兩年的碩士生涯中過得豐富且愉快。

最後，感謝摯愛的家人，在我忙碌於課業與論文時，對我的關懷、鼓勵、與打氣，總是做我最有力的後盾，讓我得以無後顧之憂努力完成學業。因為你們辛苦的栽培使我有幸來到台大農經，遇到這些熱心又可愛的夥伴，謝謝你們，願與你們分享這份喜悅。

林宗昱 謹誌於

國立臺灣大學農業經濟學研究所

中華民國九十八年七月三十一日

## 摘要

近年來因全球暖化、氣候變遷帶來許多災害，直接與間接影響到人類的生存環境，於是世界各國紛紛注意到進行二氧化碳減量的重要性，更於 1997 年在日本京都所舉行的第三次締約國大會決議通過具有約束力之「京都議定書」(Kyoto Protocol)，以進行控制溫室氣體的排放，而其中的三種減量機制中的排放權交易更是各政府或學者所十分關注的課題。

因此，本研究以影子價格模型為基礎，估算出各國以社會成本為詮釋之二氧化碳邊際減量成本，進而建構未來三種不同時間點之碳排放權交易情境，在 2010 年將分別設定 EU 與京都議定書之附件 B 國家兩個集團內國家進行排放權交易。在 2020 年乃設定 EU、ASEAN、USAN、APEC 與 OECD 五個組織，由組織內國家進行排放權交易來達到減量二氧化碳的目標。最後 2030 年則想像全世界國家一起進行排放權交易。而依據資料的完整性、可信度與可及性來進行樣本國的篩選，以及包含上述各國際組織與結盟團體之會員國，最後選用 107 國在 1990 至 2005 年間之長期追蹤資料，依此分析各種不同情境設定下之均衡交易價格與總減量成本，並比較透過排放權交易機制之總減量成本與各國單獨直接減量之總成本，以印證排放權交易制度所能發揮之成本有效性。

實證結果發現以社會成本做詮釋之邊際減量成本進行交易，則各種交易情境皆顯示經濟發展程度愈高的國家，邊際減量成本愈大，而在交易市場上為買方。此外，從不同情境的比較可以發現，經濟發展程度愈高的國家所組成之結盟團體，其交易價格愈高。最後，比較各情境下交易制度與直接減量所付出之總成本的大小，發現不論是何種情境，實行排放權交易制度所付出之總成本均較直接減量來得低。且若該組織內各國的邊際減量成本相差愈大，則交易制度中成本有效性的優點將更明顯，亦即若能將參與交易的國家數涵蓋各種不同經濟發展程度的國家時，此時實行交易制度所付出之總成本，將會比只有同一經濟發展程度國家實行交易制度的總成本來得低。

**關鍵詞：**邊際減量成本、社會成本、初始排放權分配、影子價格模型、方向產出距離函數、長期追蹤資料、固定效果模型

## Abstract

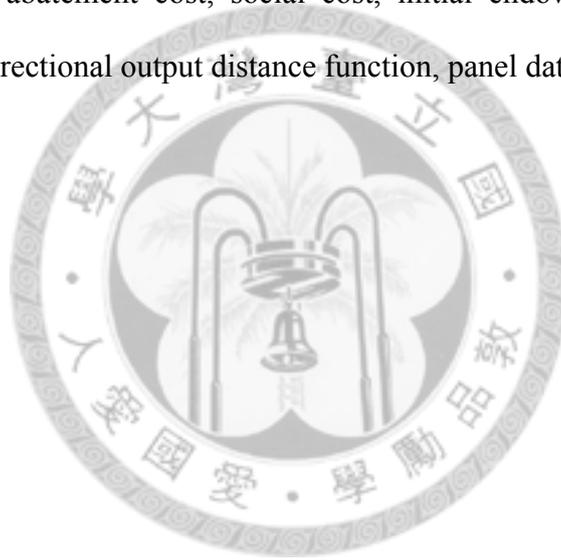
Concern about global warming and climate change has led to the Kyoto Protocol commitment in 1997, which enforces the mandatory greenhouse gas, with  $CO_2$  as the major gas, emission reduction to the average of 5.2% below 1990 level for industrialized in 2008 to 2012. Emission trading scheme is an abatement mechanism listed in the Kyoto Protocol. This instrument has been applied to the management of air pollutions, water resources, and many other natural resources. So as it is applied to the management of the  $CO_2$  emission.

The purpose of this study is by applying the shadow pricing model to estimate the marginal abatement cost of  $CO_2$  with the measurement of the gain and loss of gross national product, and then to construct emission trading scenarios for three time points. The emission trading scenario is then applied to the countries of EU and Annex B countries of Kyoto Protocol in 2010. While move further to the year of 2020, emission trading among alliance of EU, ASEAN, USAN, APEC, or OECD is simulated. Emission trading of all countries for all the countries in the world is a scenario designed for the year of 2030. The total costs to achieve certain  $CO_2$  emission reduction target arranged by the international agreement via various alliance scenarios described above are then estimated and computed. Data for 107 countries for the year of 1990 to 2005 are collected for such purpose.

The results have demonstrated that countries with higher level of economic development lead to have higher marginal abatement cost of  $CO_2$ , and these countries are the buyers in the trading market. According to the analysis of different trading scenarios, alliances of countries with high level of economic development will result in high trading prices. Moreover, the total costs with employing the emission trading

scheme is lower than that without the emission trading scheme in any emission trading scenarios. Cost effectiveness does reveal from all scenarios designed above while the comparison is made between the emission trading scheme and direct reduction mechanism. The saving of the total emission reduction costs from the emission trading mechanisms is significant while the marginal abatement costs among the countries are essential.

Keywords: marginal abatement cost, social cost, initial endowment, shadow price model, directional output distance function, panel data, fixed effect model



# 目錄

	頁次
口試委員審定書 .....	i
謝辭 .....	ii
摘要 .....	iii
Abstract .....	iv
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究動機 .....	1
第二節 研究目的 .....	4
第二章 二氧化碳邊際減量成本之概念架構 .....	6
第一節 二氧化碳邊際減量成本之內涵 .....	6
第二節 影子價格模型之概念架構 .....	8
第三章 排放權交易制度之理論探討 .....	14
第一節 排放權交易制度之概述 .....	14
第二節 跨國性二氧化碳排放權交易制度 .....	17
第四章 原始資料的來源與檢視 .....	22
第一節 代表意欲產出之指標 .....	22
第二節 代表非意欲產出之指標 .....	23
第三節 代表投入要素之指標 .....	24
第四節 本研究所選取樣本資料之特性 .....	26
第五節 原始資料之檢視 .....	30
第五章 實證模型設定 .....	40
第一節 估算二氧化碳邊際減量成本之實證模型設定 .....	41
第二節 二氧化碳邊際減量成本與排放量之實證模型設定 .....	44
第三節 二氧化碳邊際減量成本函數之實證模型設定 .....	47
第四節 二氧化碳排放權交易市場之實證模型設定 .....	51
第六章 實證結果分析 .....	54
第一節 二氧化碳邊際減量成本之估算結果 .....	54
第二節 二氧化碳排放量與邊際減量成本間的關係 .....	58
第三節 不同情境下二氧化碳排放權交易的結果 .....	59

第七章 結論 .....	75
第一節 主要結果 .....	75
第二節 未來研究方向與建議 .....	76
參考文獻 .....	77
附錄一：107 國在 1990-2005 年間 GDP 與二氧化碳排放量之變動比例 .....	83
附錄二：107 國在 1990-2005 年間各指標之平均值與標準差 .....	86
附錄三：方向產出距離函數中國家效果與時間效果之參數估計值 .....	93
附錄四：各國邊際減量成本曲線之 $\alpha_0$ 值 .....	96
附錄五：各情境下之二氧化碳排放權交易制度之交易結果 .....	100



## 表目錄

	頁次
表 3-1 直接管制與排放權交易政策之成本比較.....	16
表 4-1 107 個樣本國之洲別、經濟發展程度與二氧化碳排放量佔全球之比例 .	27
表 4-2 本研究選取的樣本國所屬之國際組織與其會員國 .....	31
表 4-3 各組織與結盟在 1990 年至 2005 年間五項指標之平均值 .....	40
表 5-1 二氧化碳排放量與邊際減量成本迴歸分析之估計值 .....	48
表 5-2 二氧化碳減量與邊際減量成本迴歸分析之估計值 .....	49
表 6-1 方向產出距離函數之參數估計值 .....	55
表 6-2 107 國在 1990-2005 年間平均邊際減量成本與生產效率 .....	56
表 6-3 2010 年 EU 二氧化碳排放權交易結果 .....	61
表 6-4 2010 年附件 B 國家二氧化碳排放權交易結果 .....	62
表 6-5 2020 年不包括俄羅斯聯邦與烏克蘭之附件 B 二氧化碳排放權交易結果	63
表 6-6 2020 年 EU 二氧化碳排放權交易結果 .....	64
表 6-7 2020 年 APEC 二氧化碳排放權交易結果 .....	65
表 6-8 2020 年 ASEAN 二氧化碳排放權交易結果 .....	66
表 6-9 2020 年 USAN 二氧化碳排放權交易結果 .....	66
表 6-10 2020 年 OECD 二氧化碳排放權交易結果 .....	67
表 6-11 2020 年均衡價格與平均 BAU 二氧化碳排放量及邊際減量成本之比較 .	68
表 6-12 2030 年 107 樣本國達到減量至 2000 年之 70% 之交易結果 .....	70
表 6-13 2030 年 107 樣本國達到減量至 2000 年之 50% 之交易結果 .....	72
表 6-14 各情境下排放權交易制度與直接減量之總成本比較 .....	74

## 圖目錄

	頁次
圖 2-1 方向產出距離函數.....	11
圖 3-1 寇斯定理下的最適污染水準.....	15
圖 3-2 各國初始分配之減量數量與排放權交易的均衡價格與數量之關係.....	20
圖 4-1 高所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	33
圖 4-2 中高所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	34
圖 4-3 中低所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	35
圖 4-4 低所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	36
圖 4-5 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與總勞動力之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	37
圖 4-6 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與國內資本形成毛額之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	38
圖 4-7 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與化石能源消費之關係 （依 GDP 大小由低至高排列）.....	39
圖 5-1 二氧化碳之邊際減量成本曲線.....	51
圖 6-1 瑞典及保加利亞於 2010 年之邊際減量成本曲線.....	59

# 第一章 緒論

## 第一節 研究動機

近年來，因氣候變遷全球暖化，帶來如海平面上升、豪雨等災害，而造成這些現象的原因之一，可歸因於人類為了促進經濟發展而大量的使用化石能源，如此一來，將使得大氣中溫室氣體（greenhouse gas, GHG）呈現逐年增加的現象，而其中又以二氧化碳所佔的比例最大。Keeling 與 Whorf（2004）的長期研究調查發現，自 1959 年起，大氣中二氧化碳的濃度從 310ppm 上升至 2003 年的 375ppm，因此，若再不對二氧化碳的排放進行管制，以這樣的上升速度來看，於 2050 年後大氣中二氧化碳濃度將提高至 500ppm，依此，人類生存將面臨巨大危機。

國際社會為了更有效且有系統的調查氣候變遷與全球暖化的現象，認為有必要性與急迫性成立一個國際性專門組織以彙整評析相關資訊。因此，於 1988 年乃成立了氣候變化政府間專家委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），提供各項數據與研究報告以瞭解全球氣候環境的變化。此外，為了減緩因過度排放二氧化碳對全球所造成的環境破壞，世界各國在 1992 年巴西里約共同簽署「聯合國氣候變化綱要公約」（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）；又於 1997 年通過具有約束力之「京都議定書」（Koyto Protocol），要求其中的附件 B 國家必須在 2008 年至 2012 年間，將各國溫室氣體的排放平均減少到比 1990 年低 5.2% 的水準。然而，國家為了追求更好的經濟發展程度，勢必要增加二氧化碳的排放以發展各種工業，因此，在面臨必須減少二氧化碳之排放的今日，一定要審慎評估二氧化碳排放減量對國家經濟發展的影響，以免造成國家整體經濟受到重創。於是，各國紛紛開始針對各種減量政策進行探討，以尋求有效的減量方式。

屬於京都議定書中主要三種減量機制之一的排放權交易制度（emission trading），更是各政府與學者十分關注的政策，主要是由於排放權交易制度已被廣泛運用在其他如國內區域性的廢水污染、二氧化硫污染等污染物的控制上（Cramton & Kerr, 2002；Dinan & Rogers, 2002；Kuik, 2003；Kleper & Peterson, 2004；Parry, 2004；Pizer *et al.*, 2006），並且此一制度具有成本有效性（cost effectiveness）的優點，也就是透過此一機制來達到二氧化碳減量目標之總成本，

會比各國單獨直接減量加總後的總成本來得低 (Montgomery, 1972; Tietenberg, 1985)。

過去排放權交易制度運用在區域性污染物的控制上，初使排放權之分配即為此一制度能否成功之重要課題。而當排放權交易擴大至國與國時，各國經由排放權交易制度來共同執行二氧化碳的減量，此時如何分配各國之初始排放權，更是此一制度能否運行得宜的關鍵。而初始排放權所強調之公平性的內涵除了有主張應考量「責任」(responsibility)與「能力」(capability)兩項原則外 (Cramton & Kerr, 2002; Dinan & Rogers, 2002; Kuik, 2003; Kleper & Peterson, 2004; Parry, 2004; Pizer *et al.*, 2006)。尚有主張應考慮「需求」(need)原則者，亦即考量公平性之時，也必須顧及國家對經濟發展與基礎維生的能源排放的需求 (Rose *et al.*, 1998; Berk & Elzen, 2001; Höhne *et al.*, 2003)，因此，此三項原則便成為之後國際上討論公平性分配的主要依據。

然而透過排放權交易制度來達到二氧化碳減量，各國為避免因減量而使整體經濟受到重創，則必須審慎評估減量所付出之代價，其中最具代表性來看減量所付出代價之指標為邊際減量成本 (marginal abatement cost)。而傳統如廢水污染、二氧化硫污染等污染物的控制，邊際減量成本的意涵多為以技術成本來做考量，亦即為了減少污染物所必須研發新技術或汰舊機器換更環保的設備所花費之成本。然而當排放權交易是跨國之交易時，由於一國減少二氧化碳之排放所付出的成本並不僅只於此，站在社會整體的立場而言是國家產業結構改變及整體經濟的損害，故只考慮技術內涵的邊際成本往往會低估二氧化碳減量對國家所付出的代價。因此，在討論二氧化碳減量的邊際減量成本時，應以整體經濟福利改變為代表邊際減量成本之內涵較為適當，亦即所謂的社會成本或稱為經濟成本，例如以國民生產毛額 (gross national product, GNP)、國內生產毛額 (gross domestic product, GDP) 或國民所得 (national income, NI) 之改變來做為二氧化碳減量所付出之代價 (Cline, 1992; Criqui, Mima & Viguier, 1999; Barker, Köhler & Villena, 2002; Bernard & Vielle, 2003; Klepper & Peterson, 2006; Stankeviciute, Kitous & Criqui, 2008; Kuik, Brander & Tol, 2009)。

此外，在分析排放權交易制度時，以技術成本或社會成本來作為二氧化碳邊際減量成本之內涵的詮釋，對解釋與一國經濟發展程度之間的關係有很大的差異，而此種差異更會造成之後排放權交易市場上買賣方國家之決定有不同的結

果。舉例來說，相對於經濟發展程度較低的國家，經濟發展程度愈高的國家擁有愈好的技術來進行二氧化碳之減量，所以減量之技術成本愈低。因此，排放權交易市場的分析，各國二氧化碳邊際減量成本之內涵若以技術成本來考量，則經濟發展程度較高的國家由於減量成本低，將會比經濟發展程度較低的國家多減量，而成為交易市場上的賣方。但如果各國之邊際減量成本之內涵是以社會成本來詮釋，要經濟發展程度愈高的國家減少排放二氧化碳所犧牲以 GDP 來表示的代價則會愈高，亦即經濟發展程度愈高的國家進行二氧化碳減量，所付出以社會成本考量之邊際減量成本會比經濟發展程度愈低的國家來得高，於是會少減量而成為交易市場上的買方。因此，在探討各國面臨排放權交易制度時，使用不同成本來詮釋邊際減量成本，將會造成交易結果迥異，而為了能更確切反映各國在進行減量所付出之代價，使用社會成本詮釋邊際減量成本來討論，是較能契合各國面臨交易市場進行二氧化碳減量時的成本考量。

而目前文獻研究以社會成本來詮釋之邊際減量成本，多選用一般均衡模型 (computable general equilibrium model, CGE) 來分析，例如 Bernard 與 Vielle (2003) 曾以 GEMINI-E3 模型來估算歐盟、美國與日本等國二氧化碳之邊際減量成本，此一模型強調經濟、能源與環境三方面的整合。而 Criqui、Mima 與 Viguier (1999) 以及 Stankeviciute、Kitous 與 Criqui (2008) 即以預期展望長期能源系統模型 (prospective outlook on long-term energy systems, POLES) 來估算二氧化碳之邊際減量成本，此模型對能源面之討論非常詳盡。Klepper 與 Peterson (2006) 即運用各種不同 CGE 模型來進行二氧化碳之邊際減量成本之估算與比較。

然除了選用 CGE 來分析之外，亦有學者利用影子價格模型 (shadow price model) 估算二氧化碳之邊際減量成本 (Maradan & Vassiliev, 2005; Marklund & Samakovlis, 2007)。影子價格模型是經由生產理論而來，並兼顧產品與要素市場兩方面的分析，更以 GDP 的減少來表示減量所付出之代價，亦即當一國進行減量政策之後，所付出的代價為該國 GDP 減少的部份，因此，所推估之邊際減量成本符合社會成本的意涵。此外，利用影子價格模型配合方向產出距離函數 (directional output distance function) 的概念，所推算之二氧化碳邊際減量成本是在該國欲增加 GDP，同時減少二氧化碳排放的情況下所估算而來，相對於使用 CGE 模型，影子價格模型更能呈現國家同時顧及 GDP 之增加與減少二氧化碳排放的情形，也就是說，經由影子價格模型衡量出之二氧化碳邊際減量成本，不僅內涵為社會成本的

概念，亦符合國家面臨提升經濟發展的同時亦須減少二氧化碳排放的現象。

而以影子價格模型推估各國二氧化碳之邊際減量成本的研究中，Maradan 與 Vassiliev (2005) 曾使用 76 國在 1985 年的橫斷面資料 (cross-section data) 進行分析，其所推估出的邊際減量成本內涵主要是用 GDP 或國內消費的犧牲做為衡量的標準 (亦即減少一噸二氧化碳的排放，必須犧牲多少 GDP 或多少國內的消費)。之後 Marklund 與 Samakovlis (2007) 同樣利用影子價格模型推估邊際減量成本，不同於 Maradan 與 Vassiliev (2005)，其選用歐盟當中 15 國在 1990 至 2000 年間的長期追蹤資料 (panel data)，並以 GDP 為衡量標準，推估出平均邊際減量成本為每噸 670 歐元，其中邊際減量成本最高的國家為丹麥的 1,360 歐元，最低的為西班牙的 140 歐元。但是此兩項研究都僅止於計算出二氧化碳之邊際減量成本，並未進一步利用此一成本來對排放權交易市場進行分析。有鑑於此，本文將以影子價格模型來推算各國以社會成本為解釋之邊際減量成本，並進一步利用此一成本來進行排放權交易之分析。

## 第二節 研究目的

本文目的在利用以社會成本為解釋之邊際減量成本，來進行各種國際結盟下碳排放權交易之分析。而初始排放權的分配是否具公平性為此一制度是否成功的關鍵。因此，依據符合國際上討論公平性分配中的三項原則，乃選擇 2008 年「The Greenhouse Development Rights Framework」第二版報告書中之責任與能力指標 (responsibility and capacity indicator, RCI)，做為分配各國初始二氧化碳減量之依據。且其資料庫中包含世界各國在 2010 年、2020 年與 2030 年之正常排放且未進行減量 (business as usual, BAU) 的二氧化碳排放量與 RCI。據此，將設定未來三個時間點各種國際結盟下之交易情境，然各種國際結盟則依據經濟部能源局 (2007) 之『台灣能源統計手冊』，從中挑選該組織成立的目的是與其區域內環境保護或能源合作有相關的組織，以及京都議定書所列之附件 B 國家。其中這些組織有些是明顯與二氧化碳排放有直接相關如附件 B 國家，有些組織也間接肩負環境保護的責任，因此，可以想像假以時日將可能進行二氧化碳的排放交易。而最後在長遠階段，全世界的國家均可能參與二氧化碳排放權的交易。

據此，由於 2010 年仍在京都議定書規定的期間內，且國際上只有 EU 與部份京都議定書中附件 B 國家有進行二氧化碳排放權交易之經驗，於是在 2010 年將分

別設定 EU 與附件 B 國家兩個集團內國家進行排放權交易。而 2020 年，排放權交易機制的發展將日漸成熟，且國際減量的責任不應只有 EU 與附件 B 國家來承擔，需考慮擴大至其他國際組織或結盟團體。因此，想像在 2020 年 EU、ASEAN、USAN、APEC 與 OECD 五個組織將可能進行二氧化碳的排放交易。最後循序漸進的達成 2030 年全世界國家一起進行排放權交易。然若只用橫斷面（cross section）資料來分析，則不能顯現一國之二氧化碳排放量與其邊際減量成本之間的關係，依此則無法進行跨國間二氧化碳交易之分析。於是，將使用長期追蹤資料（panel data）來進行相關的實證分析。而依據資料的完整性、可信度與可及性來進行樣本國的篩選，以及包含上述各國際組織與結盟團體之會員國，最後選用 107 國在 1990 至 2005 年間之長期追蹤資料，依此來分析比較各種不同情境設定下之均衡交易價格與買賣方國家之決定。

本研究有別於過去文獻之處在於，以影子價格模型為基礎，估算以 GDP 表示的二氧化碳邊際減量成本，並依此進行碳排放交易之分析。且其中樣本國的選取包含全世界 107 國在 1990 至 2005 年之長期追蹤資料。此外，實證模型的設定，符合國家在面臨交易市場時的步驟順序，首先會衡量本國的邊際減量成本，之後根據各國邊際減量成本進行交易，來決定均衡交易價格與市場上買賣方之決定。

本研究之研究目的可具體歸納為以下幾點：

- 一、檢視 107 國 16 年之長期追蹤資料，從中瞭解各國經濟發展程度與二氧化碳排放量之關係，以供後續建立經濟發展程度與邊際減量成本之概念基礎。
- 二、利用影子價格模型配合方向產出距離函數的概念，推算出各國以社會成本來詮釋之二氧化碳邊際減量成本，並進一步分析各國經濟發展程度與邊際減量成本之關係，以印證若是以社會成本來當做各國二氧化碳邊際減量成本的考量時，是否存在經濟發展程度愈高的國家，邊際減量成本愈大的關係。
- 三、設立未來三種不同之交易情境，並根據影子價格模型所推算之邊際減量成本為基礎，估算交易參與國在面臨交易市場時之邊際減量成本函數，並模擬各情境下二氧化碳排放權交易之交易結果。
- 四、最後，將進一步比較各情境下邊際減量成本的大小是如何影響均衡價格與買賣方國家之決定，以及計算排放權交易制度與直接減量之總成本，來驗證排放權交易制度是具有成本有效性的優點。

## 第二章 二氧化碳邊際減量成本之概念架構

評估二氧化碳之邊際減量成本，不但是個別國家擬定環境政策中非常重要的課題，對於目前國際社會所關心的主要減量策略<sup>1</sup>，估算邊際減量成本基本上是各種制度在規劃時的必備資訊之一。例如，各國早於1992年簽署UNFCCC之前，即有許多研究致力於評估溫室氣體減量所需的減量成本(Edmonds & Reilly, 1983; Howarth、Nikitopoulos & Yohe, 1989);而在1997年簽署京都議定書之後，許多附件B國家即藉由各種經濟模型，來評估為達到承諾之減量目標所帶來的成本及經濟衝擊(Cline, 1992; Criqui、Mima & Viguier, 1999; Barker、Köhler & Villena, 2002; Bernard & Vielle, 2003; Klepper & Peterson, 2006; Stankeviciute、Kitous & Criqui, 2008; Kuik、Brander & Tol, 2009)。由此可見，評估邊際減量成本的課題是二氧化碳減量議題中至為重要的一環。但是由於邊際減量成本不易推估，而且不同的評估方法將使得所估計出的邊際減量成本各不相同，有鑑於此，在本章第一節首先將針對二氧化碳邊際減量成本之內涵進行討論，並選擇適當的評估方法來建構二氧化碳邊際減量成本；而第二節則接續探討第一節所選擇之評估方法，並說明此一評估方法背後之經濟理論與所涉及的模型架構。

### 第一節 二氧化碳邊際減量成本之內涵

在衡量邊際減量成本時，常因所使用的評估方法不同，而會有不同的內涵，一般而言，減量成本的意涵分成技術成本與社會成本兩種類型，而評估的方法則因所考慮市場的多寡區分為由下而上的模型(bottom-up model)與由上而下的模型(top-down model)，其中，採用由下而上的模型，其本質是以能源支出最小化為目標，並且對於能源市場上的能源使用技術效率有非常詳盡的探討，因此所評估出的減量成本屬於技術成本，亦即為了減少排放二氧化碳，國家必須投入研發新技術、或更新廠房設備所需付出的成本。而在由上而下的模型中，所衡量出的減量成本是所謂的社會成本，亦稱為經濟成本，其本質乃兼顧經濟體中所有要素與產品市場，因此，此一模型所估算的減量成本包含執行減量政策之後，所有市場剩餘(market surplus)變動的總和，亦即為了減少排放二氧化碳，整個國家經濟體

<sup>1</sup>亦即京都議定書中的聯合減量(joint implementation)、清潔發展機制(clean development mechanism)、以及排放交易(emission trading)三種彈性機制。

所必須犧牲的部份，通常是以GDP的減少來表示此種成本的內涵（Bruce、Lee & Haites，1996； Jacobsen，1998）。

此外，在IPCC（1996）評估京都議定書之減量成本時曾表明「由上而下的模型估計值往往較為悲觀，由下而上的模型則未能考慮各種市場障礙的潛在成本」，由此可知，採用由上而下的模型所估算出的減量成本會大於用由下而上模型得出的減量成本，這是因為由上而下的模型，除了要考慮減少排放二氧化碳時所必須支出的技術成本之外，尚須加入經濟體系中各個市場因減量所造成的福利損失，這其中包含了各部門產出、就業甚至是國家競爭力等多方面的影響（Bernstein & Pan，2000）；因此，減量成本的概念表面上看似簡單，內涵卻因評估方法的不同而有極大的差異，所以在討論減量成本的同時，必須要確實瞭解模型所估計出減量成本的意涵。

就當前有關評估二氧化碳之邊際減量成本的研究中，Criqui、Mima與Viguier（1999）即利用由上而下模型中的CGE模型，評估京都議定書中附件B國家二氧化碳的邊際減量成本；此外，在1998年OECD的報告<sup>2</sup>中指出，使用CGE模型評估歐盟國家二氧化碳的邊際減量成本約在78至773美元之間。可發現國際間（如IPCC或OECD等）大多採由上而下的模型來做為衡量標準。因此，在評估二氧化碳邊際減量成本時，使用由上而下的模型來評估是較適當的。

於是，本文將選用由上而下的模型來評估二氧化碳的邊際減量成本，不過許多由上而下模型所推估出之邊際減量成本都是透過複雜的模型假設與公式推導而來的多國一般均衡模型。然利用影子價格模型推估二氧化碳之邊際減量成本，其不僅會考慮該國的產品市場，亦將經濟體中要素市場考量進去，且所推導出的二氧化碳邊際減量成本是由上而下的社會成本概念。除此之外，將影子價格模型結合方向產出距離函數（directional output distance function），一方面可以呈現一國為了提升經濟發展，同時另一方面亦減少二氧化碳的排放。因此，相對於使用CGE模型，影子價格模型更能呈現國家同時顧及GDP之增加與減少二氧化碳排放的情形，也就是說，經由影子價格模型衡量出之二氧化碳邊際減量成本，不僅內涵為社會成本的概念，亦符合國家面臨提升經濟發展的同時亦須減少二氧化碳排放的

<sup>2</sup> OECD（1998）報告中彙整各多國一般均衡模型評估二氧化碳之邊際減量成本，G-Cubed 模型為\$167/噸、POLES 模型為\$130-\$140/噸、GTEM 模型為\$773/噸、WorldScan 模型為\$78/噸、GREEN 模型為\$196/噸以及 AIM 模型為\$214/噸。

現象。使影子價格模型所推估出的成本，能符合本文所冀望以社會成本的概念來詮釋減少二氧化碳排放的邊際減量成本。

職是之故，本文所建構之二氧化碳邊際減量成本的模型，將藉由方向產出距離函數的概念，以影子價格模型來推導二氧化碳之邊際減量成本。此一模型的理論背景乃經由生產理論，利用方向距離產出函數與收入函數（revenue function）間具有對偶之關係，將包絡定理（envelope theorem）運用在方向產出距離函數上，以求出二氧化碳之邊際減量成本。

## 第二節 影子價格模型之概念架構

早期Pittman（1981）曾利用影子價格模型來衡量1976年美國威斯康辛州（Wisconsin）和密西根州（Michigan）造紙業者所排放之污染物的邊際減量成本。到了1993年Färe *et al.*將Shephard多產出距離函數（Shephard multi-output distance function）與影子價格模型結合，利用Shephard多產出距離函數與收入函數之間的對偶性，推導出廠商所排放之污染物的邊際減量成本，此外，Färe *et al.*（1993）利用Pittman（1981）的資料重新估算污染物的邊際減量成本，發現所估算出的邊際減量成本與Pittman（1981）是一致的，而且利用Färe *et al.*（1993）的方法在對污染物之假設，相較於Pittman（1981）之方法更寬鬆，也因此帶動後續大量的研究來推算出各種污染物的邊際減量成本（Coffins & Swinton，1996；Coelli & Perelman，1999；Reig-Martínez、Picazo-Tadeo & Hernández-Sancho，2001；Misra & Kant；2005；Ha、Kant & Maclaren，2008）。

進而，Färe、Grosskopf與Weber在2002年的研究發現，使用影子價格模型計算污染物的邊際減量成本時，建議應該使用方向距離函數的概念，而不是用Shephard多產出距離函數，因為Shephard多產出距離函數是衡量所有產出均同步增加的情形，所以若產出中有非意欲產出（undesirable output）時，使用Shephard產出距離函數將出現為了提高生產效率，而增加非意欲產出量的不合理情形；而若使用方向距離函數則可以呈現意欲產出的增加與非意欲產出減少的同步發生。因此，在計算污染物的邊際減量成本時，方向距離函數的概念是相對適當的。

而有關運用影子價格模型評估二氧化碳的邊際減量成本之研究，Maradan與Vassiliev（2005）根據Färe、Grosskopf與Weber（2002）的建議，使用方向距離函數衡量76國在1985年的橫斷面資料（cross-section data），進而推估76國二氧化碳之

邊際減量成本，其所推估出的邊際減量成本內涵主要是用GDP和國內消費的犧牲做為衡量的標準（亦即減少一噸二氧化碳的排放，必須犧牲多少GDP或多少國內的消費）。之後Marklund與Samakovlis（2007）同樣利用影子價格模型與方向距離函數評估二氧化碳的邊際減量成本，不同於Maradan與Vassiliev（2007）利用橫斷面資料，Marklund與Samakovlis選用歐盟當中15國在1990至2000年間的長期追蹤資料（panel data），並以GDP為衡量標準，推估出平均邊際減量成本為每噸670歐元，而其中邊際減量成本最高的國家為丹麥的1,360歐元，最低的為西班牙的140歐元。

由以上的文獻可以發現，採影子價格模型計算二氧化碳的邊際減量成本時，使用方向距離來衡量是較符合國家一方面追求經濟發展，另一方面希望減少二氧化碳排放的目標，此外，所估算的邊際減量成本是用經濟發展的犧牲（GDP的減少）所表示的社會成本概念。

利用影子價格模型推估二氧化碳之邊際減量成本之前，首先必須定義生產可能集合，對一個國家來說，所追求的是國家之經濟發展，所以假設  $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$  是國家在進行生產活動時的意欲產出（例如該國的GDP或國內消費）向量，而  $b = (b_1, \dots, b_J) \in R_+^J$  是國家在提升經濟發展的同時，無法避免的非意欲產出（以該國二氧化碳的排放量來做代表）向量，而  $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$  表示該國的投入要素（通常使用資本、勞動或能源消費等投入）的向量，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，藉由上述對產出與投入要素之定義，可以將一國之生產可能集合表示為（2-1）式如下

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ 可以生產出 } (y, b)\} \quad (2-1)$$

此外，為了更清楚定義一國的投入要素對該國的經濟發展程度與二氧化碳排放量之間的關係，所以假設生產可能集合滿足下列特性：

$$\text{如果 } x' \geq x, \text{ 則 } P(x') \supseteq P(x) \quad (2-2)$$

$$\text{如果 } (y,b) \in P(x) \text{ 而且 } 0 \leq \theta \leq 1, \text{ 則 } (\theta y, \theta b) \in P(x) \quad (2-3)$$

$$\text{如果 } (y,b) \in P(x) \text{ 而且 } y' \leq y, \text{ 則 } (y',b) \in P(x) \quad (2-4)$$

$$\text{如果 } (y,b) \in P(x) \text{ 而且 } b=0, \text{ 則 } y=0 \quad (2-5)$$

其中 (2-2) 式表示當一個國家所投入的要素增加時，將不會導致產出減少，此乃隱含投入要素具強可拋性<sup>3</sup> (strongly disposable)，也就是一國的資本、勞動或能源消費等投入要素愈多，而該國的GDP和二氧化碳排放量會愈高。(2-3) 式表示當投入要素量不變時，該國的經濟發展程度與二氧化碳的排放需要等比率的減少，才能落在生產可能集合的範圍內，隱含二氧化碳的排放是具弱可拋性<sup>4</sup> (weakly disposable)，此乃表示當一個國家要減少二氧化碳排放的同時，必須犧牲一些經濟發展。而 (2-4) 式表示當一個國家的經濟發展下降時，不需改變原有投入要素的數量，隱含一國的經濟發展是具有強可拋性的性質。最後第 (2-5) 式表示一個國家在追求經濟發展的時候，二氧化碳是一起被生產 (null-joint) 出來的，亦即該國不可能在追求經濟發展的同時不排放二氧化碳。

由上述對一個國家之生產可能集合的定義下，為同時顧及一國之GDP增加及二氧化碳排放量減少的情況，由Chambers、Chung與Färe在1996年所提出方向距離函數正可滿足此項要求，此一函數是將Shephard的投入距離函數 (input distance function) 與Luenberger的利潤函數 (benefit function) 概念結合生產理論建立出來，而在1997年Chung、Färe與Grosskopf乃將方向距離函數運用在處理非意欲產出的問題上，由於Shephard產出距離函數是衡量所有產出均同步增加，因此若產出中有非意欲產出時，使用Shephard產出距離函數將出現為了提高效率，而增加非意欲產出量的不尋常現象。

因此，Chung、Färe與Grosskopf (1997) 改方向產出距離函數如下式 (2-6) 來衡量生產效率

$$\bar{D}_0(x, y, b; g_y, g_b) = \text{Max}_{\beta} \{ \beta : (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x) \} \quad (2-6)$$

<sup>3</sup> 強可拋性的定義為，當  $x^0 \in L(y^0)$ ，且  $x^1 \geq x^0$  時，則  $x^1 \in L(y^0)$ 。

<sup>4</sup> 弱可拋性的定義為，當  $x^0 \in L(y^0)$ ，則  $\lambda x^0 \in L(y^0)$ ，其中  $\lambda \geq 1$ 。

其中  $(g_y, -g_b)$  是方向產出距離函數中所要衡量距離的方向，由 (2-6) 式可知，國家皆以追求提升經濟發展，以及減少排放二氧化碳為目的。因此，若使用 Shephard 產出距離函數來衡量生產效率時，任一國家  $(b, y)$  會同時追求經濟發展  $(y)$  與多排放二氧化碳  $(b)$ ，以達到具有生產效率的生產邊界（即圖 2-1 中的 A 點）；而如果用 Chung、Färe 與 Grosskopf (1997) 定義之方向產出距離函數來衡量生產效率，則國家將根據  $(g_y, -g_b)$  之方向來提升該國的生產效率，也就是該國追求經濟發展之時，會同時減少二氧化碳的排放，藉以達到具有生產效率的生產邊界（即圖 2-1 中的 B 點）。此時該國生產效率值為  $\beta^*$ ，如圖 2-1 所示，表示該國可同時提升  $\beta^* g_y$  的經濟發展（即增加  $\beta^* g_y$  的 GDP）與減少  $\beta^* g_b$  之二氧化碳的排放。

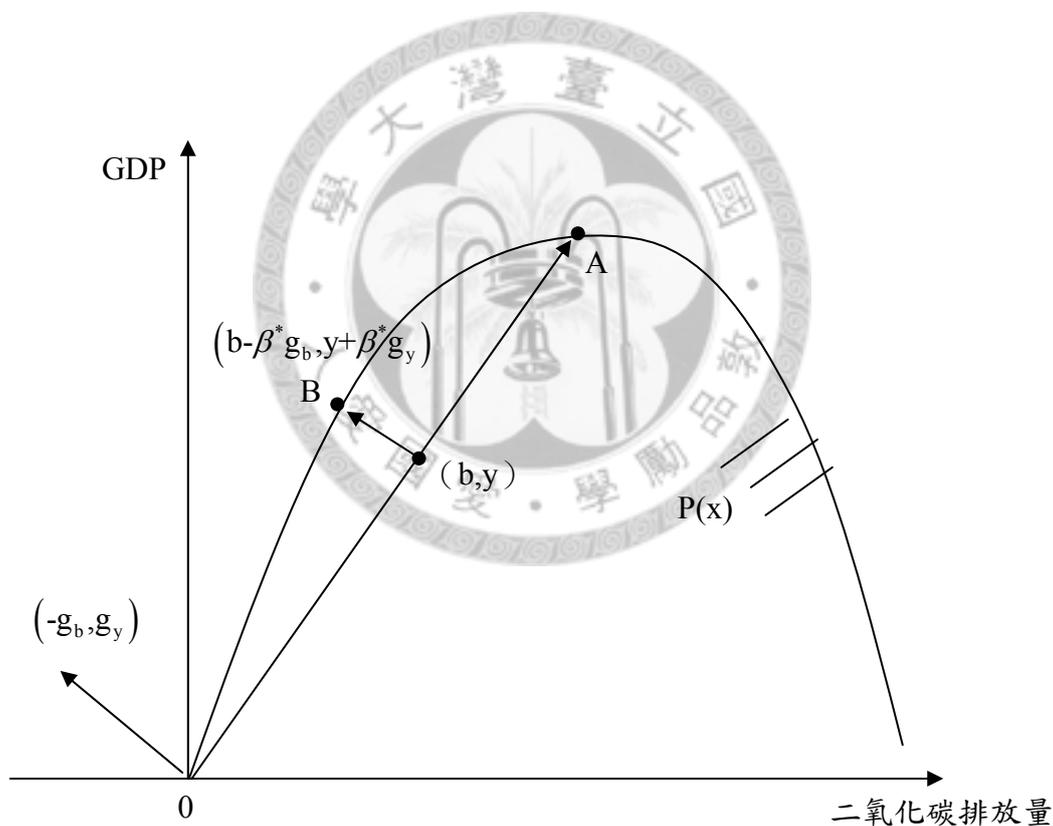


圖 2-1 方向產出距離函數

而根據 (2-1) 式與 (2-6) 式，將生產可能集合與方向距離函數做結合，則生產可能集合可以用方向距離函數的概念表示如 (2-7) 式

$$(y, b) \in P(x) \text{ 若且為若 } \bar{D}_0(x, y, b; g) \geq 0 \quad (2-7)$$

當一國的方向產出距離函數  $\bar{D}_0(x, y, b; g) = 0$  時，表示該國位於生產邊界上，是有效率的國家，相反的，當方向產出距離函數值愈大時，表示該國家的生產效率是愈差的；最後，根據 Chung、Färe 與 Grosskopf (1997) 的證明，方向產出距離函數滿足轉換特性 (translation property)，如下式 (2-8) 所示

$$\bar{D}_0(x, y + \alpha g_y, b - \alpha g_b; g) = \bar{D}_0(x, y, b; g) - \alpha \quad (2-8)$$

而影子價格模型將藉由方向產出距離函數具有此一轉換特性，設定方向產出距離函數之函數形式，以推估二氧化碳之邊際減量成本。然利用影子價格模型進行二氧化碳之邊際減量成本的推估，乃透過方向距離產出函數與收入函數之間的對偶關係而推導出來的，因此，將對此一對偶關係進行討論，以釐清所估算出之邊際減量成本是以 GDP 之犧牲來表示之社會成本的概念。

首先，定義  $p = (p_1, \dots, p_M) \in R_+^M$  和  $q = (q_1, \dots, q_J) \in R_+^J$  分別是該國意欲產出 (GDP) 與非意欲產出 (二氧化碳的排放量) 的價格向量，而國家在追求經濟發展時，可以用收入函數表示如 (2-9) 式

$$R(x, p, q) = \text{Max}_{y, b} \{ py - qb : (y, b) \in P(x) \} \quad (2-9)$$

而為了要將收入函數與方向距離函數做連結，根據 (2-7) 式，收入函數改寫成 (2-10) 式如下

$$R(x, p, q) = \text{Max}_{y, b} \{ py - qb : \bar{D}_0(x, y, b; g) \geq 0 \} \quad (2-10)$$

接著利用 (2-6) 式方向產出距離函數的概念，當一國的 GDP 和二氧化碳的排放量是由該國的投入要素所生產出來的 (即  $(y, b) \in P(x)$ )，則該國在達到具有生產效率的生產邊界時，表示使用同樣的投入要素，可以增加  $\bar{D}_0(x, y, b; g) g_y$  的 GDP 與減少  $\bar{D}_0(x, y, b; g) g_b$  之二氧化碳的排放量 (即  $\{(y, b) + \bar{D}_0(x, y, b; g) g\} \in P(x)$ )，將此概念代入 (2-10) 式可得下式 (2-11)

$$\begin{aligned}
R(x, p, q) &\geq (p, -q) \left\{ y + \bar{D}_0(x, y, b; g) g_y, b - \bar{D}_0(x, y, b; g) g_b \right\} \\
&= (py - qb) + p\bar{D}_0(x, y, b; g) g_y + q\bar{D}_0(x, y, b; g) g_b
\end{aligned} \tag{2-11}$$

由 (2-11) 式可以看出，等式的左邊表示該國在追求極大化的經濟發展，其主要是來自實際收入  $(py - qb)$  加上消除生產技術無效率的利得，而此利得主要是來自兩部份，其中一部分是由於該國 GDP 的增加，即  $p\bar{D}_0(x, y, b; g) g_y$ ；另一部分是來自於二氧化碳排放量的減少，即  $q\bar{D}_0(x, y, b; g) g_b$ 。而由 (2-11) 式改寫，可得 (2-12) 式如下

$$\bar{D}_0(x, y, b; g) = \underset{p, q}{\text{Min}} \left\{ \frac{R(x, p, q) - (py - qb)}{(pg_y + qg_b)} \right\} \tag{2-12}$$

比較 (2-12) 式與 (2-6) 式可知，方向產出距離函數除了可以用生產可能集合方式表現之外，也可以用收入函數的方式呈現，此即前述所提之對偶關係，此外，將 (2-12) 式運用包絡定理，可得 (2-13) 與 (2-14) 式

$$\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial y} = \frac{-p}{(pg_y + qg_b)} \leq 0 \tag{2-13}$$

$$\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial b} = \frac{q}{(pg_y + qg_b)} \geq 0 \tag{2-14}$$

最後，在假定該國 GDP 的價格已知之情況下，將 (2-13) 與 (2-14) 式相除，二氧化碳邊際減量成本即可表示為下式 (2-15)

$$MAC = - \left( \frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial b}{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial y} \right) p \tag{2-15}$$

由 (2-15) 式可以知道，使用影子價格模型所推估之二氧化碳邊際減量成本的內涵為社會成本，亦即減少二氧化碳排放之邊際減量成本是以 GDP 的犧牲來衡量。

### 第三章 排放權交易制度之理論探討

本文的目的在於利用第二章以影子價格模型所推估之邊際減量成本，來探討若以社會成本為詮釋之邊際減量成本，實行排放權交易制度之交易結果。於是為完成各組織與結盟有關二氧化碳在不同情況下所產生的交易價格，及各國對二氧化碳排放權的買賣情形，則需先掌握排放權交易制度中各方面的特性，以確保所建構的實證模型具合理性及完整性。據此，首先在第一節中將對排放權交易市場做概述，認識交易制度的意涵與基本理論；而第二節將針對跨國性二氧化碳排放權的交易市場進行闡述。

#### 第一節 排放權交易制度之概述

排放權交易制度自 1970 年代開始發展，至今已將近 40 年，在這段期間，交易制度經過不斷的修正以符合各研究所需。從早期研究區域間污染物的交易制度，發展到現今全球性的溫室氣體排放權交易制度，交易模型相關議題的理論與實證研究也漸趨完善。而此一制度的理論始於 1960 年的寇斯定理 (Coase theorem)，該定理主要是用於當經濟體系產生外部性<sup>5</sup> (externality) 問題時，例如空氣污染等，可以藉由市場機制來解決外部性問題，以達到最適污染水準。此外，Coase (1960) 認為主管機關只要確立污染財產權的所有者，不論財產權是設定給污染方或是被污染方，在無交易成本的假設下，可以透過雙方的協商談判，達到最適污染水準，並且不會對最後的環境污染水準產生不同的結果。

寇斯定理的精神可以從圖 3-1 來瞭解，其中 MAC 為邊際減量成本曲線，表示污染方用來控制污染所需付出成本的曲線，且當污染量愈多時付出的成本愈少，所以 MAC 為負斜率；而 MDC 代表邊際損害曲線，為被污染方受到污染後所造成損失的曲線，且當污染量愈多時被污染方的損害將愈大，因此，MDC 為正斜率；假設當污染財產權設定給被污染方時，在被污染方不願因污染方排放污染物而造成其自身的損失時，污染方將會與被污染方透過協商與談判，降低其因污染物所造成的成本與損害，而在少於 Q 單位污染量時，由於污染方所願意付出每單位污染物的價格大於被污染方所願意接受的價格，因此，雙方的協商會在 MAC 等於

<sup>5</sup> 外部性又稱為外部效應，指在經濟活動中，有些產品的消費或生產行為，會直接影響他人的福祉，但卻不需要承擔義務或沒有獲得回報。

MDC 時停止，達到最適污染水準。反之，當主管機關一開始將污染財產權設定給污染方時，被污染方願意與污染方進行協商以減少自身的損失，最後均衡仍會落在 MAC 等於 MDC 的水準上。此一定理減少了主管機關在外部性問題產生時對污染與被污染雙方的干預程度，只需要指定財產權的所有者，如同前面所述，在既定的準則下即由雙方將透過協商來達到最適污染水準。

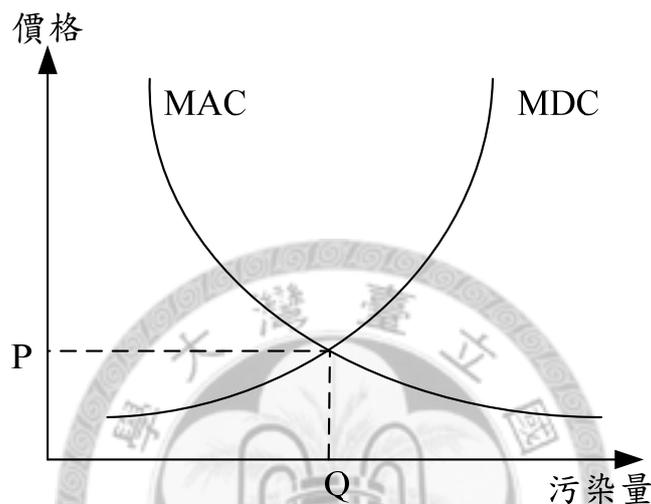


圖 3-1 寇斯定理下的最適污染水準

而排放權交易市場的概念，則為 Dales 於 1968 年首度提出，主要的觀念是根據寇斯定理的精神，認為經由市場機制的運作可達到最適污染水準，於是 Dales (1968) 創造一個排放權的市場，使污染者可以經由市場機制的運作達到降低污染的目標。而其運作的方式是由主管機關決定適切的环境品質標準，然後據此標準，訂定可容許的污染總量及對應的污染權利數量，隨之決定污染者之間最初污染許可權的分配，之後污染者在公開市場交易其污染許可權，當買賣雙方達成交易共識後，污染許可權可轉讓，購得污染許可權者可以增加污染量，反之出售者就必須減少其污染量。一般來說，邊際減量成本較高的污染者，可藉由購買污染權來增加排放污染以降低其成本，而邊際減量成本較低的污染者，則會選擇販賣多餘的污染權來獲得利潤。

Montgomery (1972) 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的政策工具，亦即在排放權交易制度下，所有參與此一制度下之污染者可以用最低的成本來達到主管機關所制定之環境品質標準，而

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關係，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，因此，主管機關在處理原始污染許可權分配時，公平性等因素將會是主要的考量依據。之後，Tietenberg (1985) 彙整許多學者從各地執行的實證研究計畫，比較排放交易相較於直接管制所能省下的成本，藉以證實排放交易制度是具備成本有效性的特點，如表3-1所示，發現直接管制之成本較排放交易制度高，其中最低也有1.07倍，最高可達22倍，可驗證出排放交易制度較直接管制確實能夠有效的降低總成本。而Malueg (1989) 更認為可交易排放許可權制度比傳統的直接管制政策，除了具成本有效性之外，還具有增加污染者技術創新的誘因，與降低管理機關行政管理等相關成本的兩項優點。

表 3-1 直接管制與排放權交易政策之成本比較

研究者	污染物種類	直接管制成本/ 排放交易成本
Atkinson 與 Lewis (1974)	微粒物質	6.00
Palmer <i>et al.</i> (1980)	氟氯碳化物	1.96
Roach <i>et al.</i> (1981)	二氧化硫	4.25
Hahn 與 Noll (1983)	硫酸鹽	1.07
Harrison (1983)	機場噪音	1.72
Krupnick (1983)	二氧化氮	5.96
Seskin、Anderson 與 Reid (1983)	二氧化氮	14.40
Maloney 與 Yandle (1984)	碳氫化合物	4.15
Spofford (1984)	二氧化硫	1.78
	微粒物質	22.00
McGartland (1984)	微粒物質	4.18

資料來源：Tietenberg (1985)。

最後，魏國棟 (2003) 針對排放權交易制度之政策工具進行相關文獻的彙整，歸納出此一制度有以下特點，基本上，排放權交易的價格是由排放權供需市場決定，所以必須視環境資源為財產權明確的財貨，環境管理機構方可控制污染許可權的數量，以達到改善環境品質的目標。因此，完善的污染排放權交易市場機制應該包含減量目標與可允許排放權利的配置；此外，排放權交易之污染者間的邊際減量成本各不相同，一般而言，參與交易之污染者的邊際減量成本差異愈大，

交易的行為愈易發生，並且參與排放權交易市場之污染者數目也應足夠大到足以建立具競爭性的交易市場。

## 第二節 跨國性二氧化碳排放權交易制度

在討論利用排放權交易制度來進行跨國性二氧化碳減量時，曾遭到許多環保團體的反對，理由為若一國二氧化碳減少的數量超過達成承諾減量的目標，應屬環境本質的利得，而不應視為一國的資產而予以販售；反之對於無法達到減量永續目標的國家而言，透過此一政策，可以規避減量的責任，因為只要有錢，便可於市場上購入足夠的排放許可權，來逃避原有承諾的減量責任。儘管如此，過去研究仍然指出排放許可權交易制度具有兩項優點，分別為減少排放量遺漏<sup>6</sup>（emission leakage）與降低減量成本（魏國棟，2003）。此外，同樣支持二氧化碳排放交易制度是具備成本有效性之論點的 Helm（2003），以序列賽局（sequential game）探討當全世界國家透過排放交易進行二氧化碳減量，則每個國家之邊際減量成本將會等於二氧化碳排放權之價格，也就是滿足成本有效性之必要條件會發生在所有國家之邊際減量成本相等時。

然而，若將排放權交易行為跨大至國與國時，各國間經由排放權交易制度機制來共同執行二氧化碳的減量，初始排放權的分配將成為此一制度是否能成功的關鍵，然目前對二氧化碳初始排放權的分配，許多國家仍存有公平性的質疑，因而不願加入排放權交易市場，於是，若能找出一套符合公平性原則的初始排放權分配的方法，才能使得愈多國家加入減量的行列（Ott，1998；Haites & Yamin，2000；Shogren & Tamn，2000；Yohe、Montgomery & Balistreri，2000；Fletcher，2005；Victor，2001；Agarwal & Narian，2002）。

因此，過去文獻針對公平性的內涵進行相關探討，歸納出符合跨國交易制度初始排放權公平分配的原則，認為公平性原則應包含「責任」（responsibility）、「能力」（capability）與「需求」（need）三個面向，其中「責任」表示累積二氧化碳排放量愈多的國家，減量的責任愈大，而必須承擔愈高的減量水準；而「能力」指愈高所得水準的國家由於具有較好的技術與能力來進行減量工作，因而需負擔較

---

<sup>6</sup>減少排放量遺漏是指，例如透過課稅的方式來做為減量政策時，由於無法強制管制，所以在溫室氣體減量的過程中，有些國家寧可不遵守承諾而增加排放量，使得超出原本規劃之總排放量，導致減量政策失敗。

高的減量水準；最後「需求」則為考量公平性之時，也必須顧及國家對經濟發展與基礎維生的能源排放需求 (Rose *et al.*, 1998; Berk & Elzen, 2001; Höhne *et al.*, 2003)，此三項原則便成為之後國際上討論公平性分配的主要依據。

而目前唯有 Gupta (2003) 曾提出「維持簡化模式」(Keep It Simple, Stupid, KISS) 具體使用此三項原則來呈現初始排放權的分配，但是其中除了以累積二氧化碳排放量來代表「責任」是具較佳的代表性之外，「能力」與「需求」則分別以所得與人力發展指標 (Human Development Index) 來詮釋，難以反應原本所欲表示的意涵；此外，Gupta (2003) 所提出的分配方式，是先由各國擬定自身的減量計畫與目標，然後提交給國際上管理二氧化碳排放量的機構，而此一機構將視各國的減量目標加總而訂定最後的總減量目標，在本質上是一種由下而上的分配機制，有別於目前國際上是先確立世界總量目標之後，在向下分配給各國之由上而下的方式。而之後 Heinrich Böll、Christian Aid、EcoEquity 與 Stockholm Environment 四個機構在 2008 年聯合發布的「The Greenhouse Development Rights Framework」第二版報告書中，即以由上而下的方式來分配各國的初始排放權，亦即各國的初始排放權是在世界總減量數量的水準下，依據公平性的三項原則計算而來。

此一報告書中以 RCI 來做為分配各國初始排放權的依據，RCI 是指該國在進行全球二氧化碳減量的工作中，所必須承擔起的減量比例，主要的概念是從保障一國發展（需求）的角度出發，並利用責任指標與能力指標來計算。主要方法是先訂立「發展界限值」(development threshold) 來保障各國的維生需求，而其定義發展界限值為所得 7,500 美元，之後能力指標為根據該國在發展界限值以上的每人所得 (national per-capita income) 與基尼係數 (Gini coefficient) 估算而來，而責任指標則是依據每人累積二氧化碳排放量來計算，兩項指標的計算皆用「人均」的方式表現，也就是加入人口數 (population) 來作為修正因子，以避免因國家大小而影響分配的公平性，主要是因為人口數多的國家能源消耗相對較大，國家維生所需的能源總量也較大。最後 RCI 即將此兩項指標平均後而得。由此可發現相對於 KISS，RCI 除了是以由上而下的模式來分配外，其更能呈現公平性中三項原則的內涵。

除此之外，在討論跨國性二氧化碳排放權交易制度時，其中必須要考慮到交易成本的存在，因為原始寇斯定理是在無交易成本的假設下才能成立，據此，有許多文獻即在探討京都議定書中三種減量機制所付出交易成本的高低，其中，

Burniaux *et al.* (1992) 曾透過模擬的方法來證明在達成二氧化碳減量目標的前提下，排放權交易市場政策的執行成本，將低於其他政策執行成本的 50%；而 Woerdman (2001) 指出排放交易雖然可以降低溫室氣體的減量成本，但交易成本卻會降低制度的成本有效性；不過，Woerdman 指出聯合減量與清潔發展機制所產生的交易成本將較排放交易制度來得高，這是因為此兩種減量機制必須經過基線建立、認證及驗證的程序；而排放交易制度只需每年查核一次，故交易成本較低。最後，Michaelowa *et al.* (2003) 則將三種機制可能產生的交易成本進行比較分析，同樣發現聯合減量與清潔發展機制兩種機制的交易成本均高於排放交易。

由以上研究的結果可以發現，雖然交易成本的存在會降低排放權交易制度中成本有效性的優點，但是，相較於其他兩種減量機制，排放權交易制度的交易成本是較低的，因此，在針對跨國性二氧化碳的減量，此一機制相對而言仍是較能有效達成目標的方法。此外，若要降低交易成本，制度的設計應簡化且初始排放權的分配必須具備公平性，如此才能擴大交易範圍，增加參與的國家數，進而有效降低成本。

透過 Dales (1968) 排放權交易市場理論概念，將跨國性二氧化碳排放權交易市場制度的概念表示為圖 3-2，而橫軸以二氧化碳的減量來表示，此時，兩國以追求全體減量成本最小化為目標，且整體二氧化碳所減少的數量絕不會超過全體分配到減量目標數量之限制下 (Montgomery, 1972; Atkinson & Tietenberg, 1982; Stavins, 1995)，此一關係可表示如下

$$\text{Min } TC = \sum_{k=1}^K C_k + p(\bar{R}_k - R_k) \quad (3-1)$$

$$\text{s.t } \sum_{k=1}^K R_k = \sum_{k=1}^K \bar{R}_k \quad (3-2)$$

其中  $C_k$  表示一國減量所必須付出之社會成本，而  $p$  表示交易市場上排放權的價格， $\bar{R}_k$  與  $R_k$  分別代表各國初始分配到必須減量的二氧化碳量和該國實際二氧化碳排放量。因此，第  $k$  國之減量成本即可表示為該國施行減量政策所必須付出之社會成本  $C_k$ ，加上該國必須減少的二氧化碳量不足其初始分配到的數量時，則必須進

入交易市場購買不足的部份  $p(\overline{R}_k - R_k)$ 。若對應至圖3-2，假設有兩國參與減量的行列而加入排放權交易市場，其中第一國之邊際減量成本較低為  $MAC_1$ ，而第二國之邊際減量成本較高為  $MAC_2$ ，主管機關根據一套符合公平性原則的分配方法來分配兩國之初始排放權，進而兩國初始分配到必須減少的二氧化碳量分別設定為  $\overline{R}_1$  與  $\overline{R}_2$ ，即圖3-2中之  $\overline{0_1A}$  與  $\overline{0_2A}$ 。

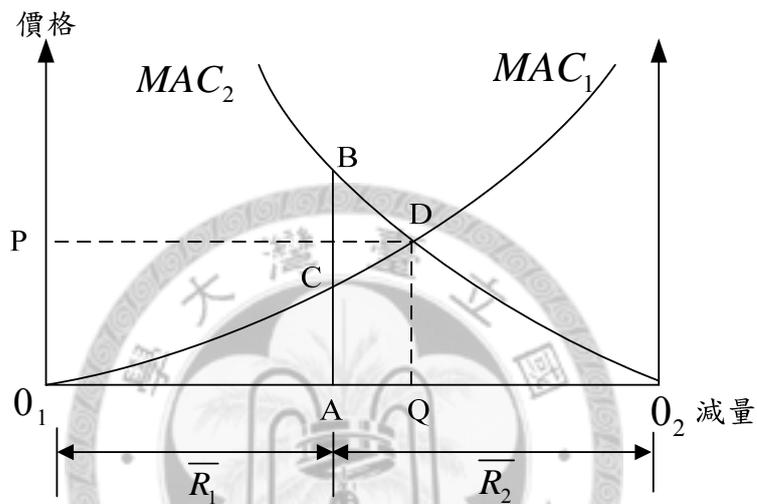


圖 3-2 各國初始分配之減量與排放權交易的均衡價格與數量之關係

而當未實行排放權交易制度時，兩國將依初始分配進行減量，亦即兩國必須分別直接減量至  $\overline{0_1A}$  與  $\overline{0_2A}$ ，此時兩國減量成本分別為面積  $0_1CA$  與面積  $0_2BA$ ，總減量成本為面積  $0_1CBA_2$ 。然實施排放權交易制度，兩國在交易市場進行交易之後，二氧化碳排放權之均衡價格將落在雙方之邊際減量成本相等時，並且兩國在此一價格下之減量分別為  $\overline{0_1Q}$  與  $\overline{0_2Q}$ 。此時，兩國減量成本分別為面積  $0_1DQ$  與面積  $0_2DQ$ ，總減量成本為面積  $0_1DQ_2$ ，相對於未實行交易制度，在同樣的減量目標下，有實行交易制度的總減量成本比直接減量的減量成本還低，總減量成本減少了面積  $BCD$ 。因此，兩國將透過交易制度進行減量以達總減量成本最小的目標，此時第一國的減量為  $(\overline{0_1Q})$  超過其初始分配到必須減少的二氧化碳量  $(\overline{0_1A})$ ；而第二國的減量為  $(\overline{0_2Q})$  不及其初始分配到必須減少的二氧化碳量  $(\overline{0_2A})$ ，表示第一國將出售排放權給第二國來獲得利潤，而第二國將購買排放權以達成初始

必須減少的二氧化碳量。

從兩國邊際減量成本的高低來分析，由於第一國相較於第二國的邊際減量成本較低，也就是在同樣的減量數量下，第一國所付出之減量成本較第二國低，因此，第一國願意用較低的成本多減量，並將超過其初始分配到必須減少二氧化碳量的部份以高於自己減量成本的價格出售，藉此獲得利潤，然第二國由於邊際減量成本較第一國高，所以將透過交易市場，以比自己進行減量所付出之成本較低的價格購買排放權，藉此達成初始必須減少的二氧化碳量。由此可知，在進行二氧化碳排放權交易時，各國初始分配均相等的前提下，邊際減量成本相對的大小將成為各國在市場上買賣方決定的關鍵。而 Ellerman 與 Decaux (1998) 研究實證顯示，京都議定書中附件 B 國家進行交易的結果顯示邊際減量成本愈高的國家，會成為交易市場上的買方。並且若允許非附件 B 國家參與交易市場，由於附件 B 國家相對於非附件 B 國家之邊際減量成本是較高的，因此，附件 B 中有些國家將從交易市場的賣方成為買方的角色；亦即由於當只有附件 B 國家進行交易時，該國相對於其他附件 B 國家邊際減量成本為較低，所以為賣方；但是若加入邊際減量成本相對低的非附件 B 國家，該國在此一交易參與國中，便成為邊際減量成本相對高的國家，因而由原本的賣方轉變成買方。也就是說一國在排放權市場上買賣方的角色會隨著排放交易參與國家數的改變而跟著調整，而調整的關鍵為參與交易國相對邊際減量成本的大小。

## 第四章 原始資料的來源與檢視

為了使用影子價格模型進行二氧化碳之邊際減量成本的推估，必須先決定可以採用何種指標來衡量一國之意欲產出、非意欲產出與投入的要素。此外，為了進行國與國之間二氧化碳排放權交易之分析，在進行資料挑選時，除了考量過去文獻對各種指標的挑選外，尚必須考量各國各種指標資料的完整性、可信度與可及性。而為探討未來不同時間點上，各種交易組合對二氧化碳排放權交易均衡價格之影響，因此，若只用橫斷面（cross section）資料來分析，則不能顯現一國之二氧化碳排放量與其邊際減量成本之間的關係，依此則無法進行未來跨國間二氧化碳交易之分析。於是，將使用長期追蹤資料（panel data）來進行相關的實證分析，此一資料的優點不僅包含跨國間橫斷面資料的資訊，同時透過各國在時間數列資料（time series）上的訊息，能利用在未來各時間點上跨國二氧化碳排放權交易之研究。

最後依據各指標資料的完整性、可信度與可及性來進行樣本國的篩選。而在二氧化碳排放權交易的實證分析上，考量到現在國際上的情況，要立刻達成全世界 107 國一起進行排放權交易來減量二氧化碳是不容易的，因此，會先從已經在實施的交易團體來進行分析，進而擴大至其他不同的國家組合或結盟關係，最後循序漸進的達成全世界各國透過排放權交易的方法來進行二氧化碳的減量工作。因此，樣本國之篩選除包含各國國際組織與結盟團體之會員國外，為達成全世界各國之排放權交易，最終選擇包含了各國國際組織與結盟團體之會員國後，共 107 國在 1990 至 2005 年間之長期追蹤資料，依此來分析比較各種不同情境設定下之均衡交易價格與買賣方國家之決定。

### 第一節 代表意欲產出之指標

在廠商生產理論中，意欲性產出表示廠商在進行生產活動時，所想要產出的物品，例如，造紙廠或發電廠在進行生產時，紙張、電力分別是生產活動中所想要的產出項；然而對一個國家來說，所追求的是國家之經濟發展，常用來衡量經濟發展的指標有國民生產毛額（gross national product, GNP）、國內生產毛額（gross domestic product, GDP）與國民所得（national income, NI）三項，根據過去文獻的經驗發現，在進行二氧化碳的分析議題上，多使用GDP來表現一國之意欲產出，

所以選用GDP來做為國家意欲產出之指標是適當的(Maradan & Vassiliev, 2005; Marklund & Samakovlis, 2007)。

然而一國之GDP尚會受到該經濟社會的物價水準的影響，亦即當一國出現GDP上升的情形，可能有些部份是來自物價水準的上升，所以必須將此部分剔除，才能真正顯現GDP的上升是由於經濟發展所引起的，因此，在使用GDP衡量經濟發展程度時，不能使用名目GDP (nominal GDP) 的資料，必須使用實質GDP (real GDP) 來計算，這是由於實質GDP是以基期年的物價水準為基準來計算各年度的GDP (亦即固定物價水準)，所以可將物價水準變動對GDP變動所造成的影響排除在外。

由上述說明可知，在挑選國家意欲產出之指標時，為了能夠正確表現該國之經濟發展程度，本文將採用各國實質GDP來做為意欲產出之指標；而世界銀行中的世界發展指標 (World Development Indicators, WDI) 資料庫有符合前述完整的資料，因此，將直接採用WDI資料庫裡以美元計價2000年物價水準平減的實質GDP來當作意欲產出之指標。但是此資料庫中並不包含台灣的資料，因此，有關台灣實質GDP的資料則來自於中央政府總預算查詢及統計資料庫中的總體經濟資料庫，由於此資料庫中並沒有以2000年平減之實質GDP的資料，所以將採用此資料庫中的名目GDP資料，再利用中華民國統計資訊網中各年度的消費者物價指數 (consumer price index, CPI) 進行平減；最後為了使台灣資料與WDI的資料具一致性，都是使用美元來計價，將根據總體經濟資料庫中的每日美元即期匯率—銀行間收盤匯率的資料進行換算，可求得以美元計價2000年平減之台灣實質GDP的資料。

## 第二節 代表非意欲產出之指標

由於廠商在進行生產活動時，通常在生產意欲產出的同時，亦會生產非意欲產出，例如前述的造紙廠與發電廠，其中紙張、電力是生產活動的意欲產出項，而廢水、廢氣則是進行生產活動時所無法避免的非意欲產出項；因此，為了計算二氧化碳之邊際減量成本，所以二氧化碳的排放量將是國家在提升經濟發展的同時，無法避免的非意欲產出項之指標。

因為化石能源中的碳原子在燃燒過程中，即氧化釋出熱能變成二氧化碳逸入大氣中，所以為了計算各國二氧化碳的排放量，氣候變化政府間專門委員會

(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 公佈計算二氧化碳排放量的方法有兩種，一種為基準方法 (reference approach) 另一種為部門方法 (sectoral approach)；其中基準方法是由能源面來進行二氧化碳排放量的計算，本來此方法是由最終能源使用 (end use) 所消耗的化石能源數量來計算二氧化碳的排放量，但是由於一國的能源供應資料較易於掌握，且可經由國際能源交易記錄複核，所以IPCC為了使各國均能應用此一方法，故採行由能源供應面來計算二氧化碳的排放量；而部門方法則是由最終使用部門來計算使用能源所排放的二氧化碳量，亦即按國家各個部門分別計算二氧化碳的排放量 (經濟部能源局，2009)。

本研究所使用的二氧化碳排放量之資料，取自於二氧化碳資訊分析中心 (The Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC)，此資料庫是由Marland、Boden與Andres彙編而成，包含了將近全世界所有國家二氧化碳排放量的資料，而所涵蓋的年份依各國的國情各不相同，其中時間最長的國家資料涵蓋了從1751年至2005年，是目前可得的資料中，最完整的二氧化碳排放量資料庫，此外，CDIAC計算二氧化碳排放量所使用的方法是利用各國氣體燃料 (gas fuels)、液體燃料 (liquid fuels) 與固體燃料 (solid fuels) 之化石燃料的消耗等資料的加總，以推估各國每年二氧化碳之排放量，此方法為IPCC所公佈兩種計算二氧化碳方法中之基準方法。

但是由於此資料庫中有些國家之二氧化碳排放量資料有遺漏，例如1991年蘇聯瓦解後所成立之亞美尼亞、亞塞拜然、白俄羅斯、愛沙尼亞、哈薩克、拉脫維亞、立陶宛、俄羅斯聯邦、烏克蘭、烏茲別克等10國，與1991年才從南斯拉夫社會主義聯邦共和國獨立出的克羅埃西亞及斯洛維尼亞兩國，加上捷克與斯洛伐克兩國，這14國之二氧化碳排放量在1992年以後才有資料，所以為了補齊這些國家在1990年與1991年二氧化碳排放量之缺漏，將依據各國資料的特性填補缺漏。其中由於這14國在1992至2005年二氧化碳排放量大多呈現平穩的上升或下降的趨勢，所以若採用1992至2005年期間平均的二氧化碳排放量來填補這兩年的缺漏，較為不合理，故利用這些國家接近1990及1991年的1992年資料，以做為該國1990年及1991年二氧化碳排放量的資料。

### 第三節 代表投入要素之指標

在投入要素指標的選取上，一般通常是使用勞動與資本，然而為了使所推估的二氧化碳邊際減量成本更能反應該國在能源面上的考量，且符合減量之社會成

本概念。因此，本文在投入要素之指標的選擇上，除了一般常考慮到的勞動市場與資本市場之外，更加入能源市場進行探討，此外，加上參考過去有關分析二氧化碳減量成本的文獻對投入要素的選擇(Maradan & Vassiliev, 2005; Marklund & Samakovlis, 2007)，對要素指標之挑選，則分別從勞動市場、資本市場與能源市場三方面來著手，其中勞動市場的指標是使用總勞動力(total labor force)來表示，而資本市場以國內資本形成毛額(gross capital formation)指標來代表，最後能源市場則以化石能源消費(fossil fuel energy consumption)的指標來衡量，此外，考量資料的一致性與完整性，WDI 資料庫正好有前述三種指標的資料，所以除了台灣的資料之外，各國的這三種指標將直接或間接取自於 WDI 資料庫。

### 一、總勞動力指標

有關勞動市場指標的選擇，以總勞動力來代表，而 WDI 資料庫正好有這一項指標，所以將直接取自 WDI 資料庫，此外，台灣各年度之總勞動力資料則取自於中央政府總預決算查詢及統計資料庫中的總體經濟資料庫。

### 二、國內資本形成毛額指標

由於國內資本形成毛額指標必須和前述所選取的 GDP 指標一致，皆以美元計價且用 2000 年物價水準進行平減，所以將選用 WDI 資料庫中的國內資本形成毛額占 GDP 的比例這一項指標，乘上以美元計價 2000 年平減的實質 GDP，得到以美元計價之 2000 年平減實值國內資本形成毛額(real gross capital formation)，而台灣此一指標之資料，則來自於中央政府總預決算查詢及統計資料庫中的總體經濟資料庫，和前述台灣實質 GDP 的資料一樣，由於此資料庫並沒有以 2000 年平減之實質國內資本形成毛額的資料，所以將採用此資料庫中的名目國內資本形成毛額資料，再利用中華民國統計資訊網中各年度的 CPI 進行平減，最後根據總體經濟資料庫中的每日美元即期匯率—銀行間收盤匯率的資料進行換算，依此可計算出台灣以美元計價 2000 之年平減之實質國內資本形成毛額的資料。

而其中安哥拉在 1995 年與哈薩克在 1990 及 1991 年的資料有所缺漏，因此，安哥拉在 1995 年的實質國內資本形成毛額的資料，將取前後兩年資料的平均值以補其缺漏的這筆資料。至於哈薩克所缺漏之資料，本研究觀察該國在 1992 年至 2005 年期間資料的趨勢特性，選擇以 1992 年的實質國內資本形成毛額來補齊 1990 與

1991 年的缺漏資料。

### 三、化石能源消費指標

根據過去有關二氧化碳議題分析的文獻發現，在能源市場上，大多選擇能源消費 (energy consumption) 來做為投入要素的指標 (Maradan & Vassiliev, 2005; Marklund & Samakovlis, 2007)，然而 WDI 資料庫並無能源消費這一項指標，只有化石能源消費佔能源使用 (energy use) 比例這一項指標，所以將 WDI 資料庫中化石能源消費佔能源使用比例與能源使用這兩項資料相乘，即可得到化石能源消費的資料來做為能源市場上要素投入之指標；而有關台灣化石能源消費的資料，則取自於經濟部能源局 (2007) 之『台灣能源統計手冊』，其中由於台灣對化石能源消費的單位是用千公秉油當量 ( $10^3$  kloe) 與 WDI 的單位千公噸油當量 (kt of oil equivalent) 不同，所以必須經過單位換算<sup>7</sup>，使資料具一致性。

### 第四節 本研究所選取樣本資料之特性

綜合以上對各指標資料來源之敘述後，依據資料的完整性以及參考過去文獻的內容 (Maradan & Vassiliev, 2005; Marklund & Samakovlis, 2007)，最後篩選 1990 至 2005 年 107 個國家共 8,560 筆的實質 GDP、二氧化碳排放量、總勞動力、實質國內資本形成毛額與化石能源消費資料來進行分析。在最終以全世界進行碳排放權交易的前提下，所選擇的 107 個樣本國中，涵蓋了五大洲，如表 4-1 所示，其中亞洲有 27 國、歐洲有 35 國、美洲有 23 國、非洲有 20 國、大洋洲有 2 國；若以經濟發展程度來分類，根據世界銀行 (2009) 所分類的資料顯示，所挑選的樣本國屬高所得國家 (high income) 的有 39 國、中高所得國家 (upper middle income) 有 23 國、中低所得國家 (lower middle income) 有 29 國、低所得國家 (low income) 有 16 國。但由於台灣並非世界銀行的會員國，因此，不在此所得分類群中，然而在世界銀行 (2009) 的附註將台灣歸類為高所得群國家，於是在研究分析上將台灣歸類於高所得群國家；另外，所選取之 107 國在 1990 年之二氧化碳總排放量佔全球排放量的 87.16%，而 2005 年之二氧化碳總排放量佔全球排放量的 89.10%，若以 1990 至 2005 年的 16 年平均來看，二氧化碳排放量平均佔全世界的 89.36%。

<sup>7</sup>1 千公秉油當量約等於 0.862069 千公噸油當量 (經濟部能源局, 2007)。

表 4-1 107 個樣本國之洲別、經濟發展程度與二氧化碳排放量佔全球之比例<sup>a</sup>

英文國名	中文國名	洲別	經濟發展程度	二氧化碳排放佔全球比例		
				1990 年	2005 年	1990-2005 年平均
Algeria	阿爾及利亞	非洲	中低所得	0.471%	0.471%	0.418%
Angola	安哥拉	非洲	中低所得	0.031%	0.031%	0.028%
Argentina	阿根廷	美洲	中高所得	0.523%	0.523%	0.529%
Armenia	亞美尼亞	歐洲	中低所得	0.015%	0.015%	0.014%
Australia	澳大利亞	大洋洲	高所得	1.263%	1.263%	1.316%
Austria	奧地利	歐洲	高所得	0.252%	0.252%	0.253%
Azerbaijan	亞塞拜然	亞洲	中低所得	0.125%	0.125%	0.136%
Bahrain	巴林	亞洲	高所得	0.067%	0.067%	0.065%
Bangladesh	孟加拉共和國	亞洲	低所得	0.137%	0.137%	0.104%
Belarus	白俄羅斯	歐洲	中高所得	0.217%	0.217%	0.283%
Belgium	比利時	歐洲	高所得	0.351%	0.351%	0.415%
Benin	貝南	非洲	低所得	0.009%	0.009%	0.006%
Bolivia	玻利維亞	美洲	中低所得	0.032%	0.032%	0.033%
Botswana	波茨那	非洲	中高所得	0.016%	0.016%	0.015%
Brazil	巴西	美洲	中高所得	1.114%	1.114%	1.119%
Brunei Darussalam	汶萊	亞洲	高所得	0.020%	0.020%	0.023%
Bulgaria	保加利亞	歐洲	中高所得	0.152%	0.152%	0.207%
Cameroon	喀麥隆	非洲	中低所得	0.013%	0.013%	0.014%
Canada	加拿大	美洲	高所得	1.840%	1.840%	1.915%
Chile	智利	美洲	中高所得	0.226%	0.226%	0.207%
China	中國	亞洲	中低所得	18.995%	18.995%	13.957%
Colombia	哥倫比亞	美洲	中低所得	0.201%	0.201%	0.242%
Congo, Dem. Rep.	剛果民主共和國	非洲	低所得	0.007%	0.007%	0.010%
Congo, Rep.	剛果	非洲	中低所得	0.007%	0.007%	0.006%
Costa Rica	哥斯大黎加	美洲	中高所得	0.025%	0.025%	0.021%
Cote d'Ivoire	象牙海岸	非洲	低所得	0.030%	0.030%	0.025%
Croatia	克羅埃西亞	歐洲	中高所得	0.078%	0.078%	0.080%
Czech Rep.	捷克共和國	歐洲	高所得	0.410%	0.410%	0.512%
Denmark	丹麥	歐洲	高所得	0.158%	0.158%	0.219%
Dominican Rep.	多明尼加共和國	美洲	中低所得	0.064%	0.064%	0.068%
Ecuador	厄瓜多爾	美洲	中低所得	0.100%	0.100%	0.090%
Egypt, Arab Rep.	埃及	亞洲	中低所得	0.594%	0.594%	0.480%
El Salvador	薩爾瓦多	美洲	中低所得	0.022%	0.022%	0.021%
Estonia	愛沙尼亞	歐洲	高所得	0.062%	0.062%	0.079%
Finland	芬蘭	歐洲	高所得	0.182%	0.182%	0.224%
France	法國	歐洲	高所得	1.293%	1.293%	1.492%
Gabon	加彭	非洲	中高所得	0.005%	0.005%	0.010%
Germany	德國	歐洲	高所得	2.684%	2.684%	3.417%

表 4-1 (續)

英文國名	中文國名	洲別	經濟發展程度	二氧化碳排放占全球比例		
				1990 年	2005 年	1990-2005 年平均
Ghana	迦納	非洲	低所得	0.025%	0.025%	0.024%
Greece	希臘	歐洲	高所得	0.327%	0.327%	0.339%
Guatemala	瓜地馬拉	美洲	中低所得	0.039%	0.039%	0.034%
Haiti	海地	美洲	低所得	0.006%	0.006%	0.005%
Honduras	宏都拉斯	美洲	中低所得	0.025%	0.025%	0.019%
Hungary	匈牙利	歐洲	高所得	0.193%	0.193%	0.232%
Iceland	冰島	歐洲	高所得	0.007%	0.007%	0.008%
India	印度	亞洲	中低所得	4.802%	4.802%	4.220%
Indonesia	印尼	亞洲	中低所得	1.437%	1.437%	1.098%
Ireland	愛爾蘭	歐洲	高所得	0.145%	0.145%	0.153%
Israel	以色列	亞洲	高所得	0.218%	0.218%	0.223%
Italy	義大利	歐洲	高所得	0.155%	0.155%	1.511%
Jamaica	牙買加	美洲	中高所得	0.035%	0.035%	0.039%
Japan	日本	亞洲	高所得	4.212%	4.212%	4.739%
Jordan	約旦	亞洲	中低所得	0.070%	0.070%	0.059%
Kazakhstan	哈薩克	亞洲	中高所得	0.619%	0.619%	0.710%
Kenya	肯亞	非洲	低所得	0.038%	0.038%	0.034%
Korea, Rep.	南韓	亞洲	高所得	1.548%	1.548%	1.561%
Latvia	拉脫維亞	歐洲	中高所得	0.022%	0.022%	0.036%
Lebanon	黎巴嫩	亞洲	中高所得	0.058%	0.058%	0.058%
Lithuania	立陶宛	歐洲	中高所得	0.048%	0.048%	0.064%
Luxembourg	盧森堡	歐洲	高所得	0.039%	0.039%	0.039%
Malaysia	馬來西亞	亞洲	中高所得	0.821%	0.821%	0.495%
Malta	馬爾他	歐洲	高所得	0.009%	0.009%	0.010%
Mexico	墨西哥	美洲	中高所得	1.443%	1.443%	1.571%
Moldova	摩爾達維亞	歐洲	中低所得	0.028%	0.028%	0.041%
Morocco	摩洛哥	非洲	中低所得	0.164%	0.164%	0.135%
Mozambique	莫三比克	非洲	低所得	0.006%	0.006%	0.005%
Nepal	尼泊爾	亞洲	低所得	0.011%	0.011%	0.010%
Netherlands	荷蘭	歐洲	高所得	0.431%	0.431%	0.577%
New Zealand	紐西蘭	大洋洲	高所得	0.103%	0.103%	0.113%
Nicaragua	尼加拉瓜	美洲	中低所得	0.013%	0.013%	0.013%
Norway	挪威	歐洲	高所得	0.181%	0.181%	0.146%
Oman	阿曼	亞洲	高所得	0.108%	0.108%	0.081%
Pakistan	巴基斯坦	亞洲	低所得	0.460%	0.460%	0.393%
Panama	巴拿馬	美洲	中高所得	0.020%	0.020%	0.021%
Paraguay	巴拉圭	美洲	中低所得	0.013%	0.013%	0.015%
Peru	秘魯	美洲	中低所得	0.127%	0.127%	0.106%

表 4-1 (續)

英文國名	中文國名	洲別	經濟發展程度	二氧化碳排放占全球比例		
				1990 年	2005 年	1990-2005 年平均
Philippines	菲律賓	亞洲	中低所得	0.257%	0.257%	0.270%
Poland	波蘭	歐洲	中高所得	1.035%	1.035%	1.333%
Portugal	葡萄牙	歐洲	高所得	0.214%	0.214%	0.216%
Romania	羅馬尼亞	歐洲	中高所得	0.305%	0.305%	0.438%
Russian Federation	俄羅斯聯邦	歐洲	中高所得	5.147%	5.147%	6.466%
Saudi Arabia	沙烏地阿拉伯	亞洲	高所得	1.305%	1.305%	1.177%
Senegal	塞內加爾	非洲	低所得	0.017%	0.017%	0.016%
Singapore	新加坡	亞洲	高所得	0.193%	0.193%	0.204%
Slovak Republic	斯洛伐克	歐洲	高所得	0.125%	0.125%	0.159%
Slovenia	斯洛維尼亞	歐洲	高所得	0.051%	0.051%	0.057%
South Africa	南非	非洲	中高所得	1.400%	1.400%	1.481%
Spain	西班牙	歐洲	高所得	1.177%	1.177%	1.062%
Sri Lanka	斯里蘭卡	亞洲	中低所得	0.038%	0.038%	0.032%
Sudan	蘇丹	非洲	中低所得	0.036%	0.036%	0.024%
Sweden	瑞典	歐洲	高所得	0.166%	0.166%	0.200%
Switzerland	瑞士	歐洲	高所得	0.141%	0.141%	0.167%
Taiwan	台灣	亞洲	高所得	0.842%	0.842%	0.776%
Thailand	泰國	亞洲	中低所得	0.928%	0.928%	0.778%
Togo	多哥	非洲	低所得	0.005%	0.005%	0.004%
Trinidad and Tobago	千里達及托巴哥	美洲	高所得	0.112%	0.112%	0.095%
Tunisia	突尼西亞	非洲	中低所得	0.075%	0.075%	0.074%
Ukraine	烏克蘭	歐洲	中低所得	1.120%	1.120%	1.641%
United Arab Emirates	阿拉伯聯合大公國	亞洲	高所得	0.424%	0.424%	0.369%
United Kingdom	英國	歐洲	高所得	1.871%	1.871%	2.254%
United States	美國	美洲	高所得	19.778%	19.778%	21.827%
Uruguay	烏拉圭	美洲	中高所得	0.019%	0.019%	0.020%
Uzbekistan	烏茲別克斯坦	亞洲	低所得	0.385%	0.385%	0.460%
Venezuela, RB	委內瑞拉	美洲	中高所得	0.507%	0.507%	0.561%
Vietnam	越南	亞洲	低所得	0.349%	0.349%	0.200%
Zambia	尚比亞	非洲	低所得	0.008%	0.008%	0.009%
Zimbabwe	辛巴威	非洲	低所得	0.039%	0.039%	0.062%

資料來源：本研究整理。

註 a：依國名之英文名稱排序。

由於本研究除了分析全世界碳排放權交易的情形之外，還會探討國際上重要的國際組織中會員國進行碳排放權交易之情形，因此，根據經濟部能源局（2007）之『台灣能源統計手冊』於附表中所列出之國際組織，再從中挑選該組織成立的目的是與其區域內環境保護或能源合作有相關的組織，加上京都議定書所列之附件 B 國家，依其組成的類別分成區域性的國際組織與其他國際組織兩類，如表 4-2 所示。其中區域性國際組織有歐盟（European Union, EU）、東南亞國協（Association of SouthEast Asian Nations, ASEAN）、南美洲國家聯盟（Union of South American Nations, USAN）與亞洲太平洋經濟合作會議（The Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC）；而其他國際組織則包含了經濟合作與發展組織（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）與京都議定書附件 B 的國家。

此外，表 4-2 亦列出各國際組織的會員國，與這些國際組織會員國中沒有涵蓋在本研究所選出的樣本國，在這之中 ASEAN 共有 10 個會員國，而本研究的樣本國只有涵蓋其中 7 個會員國，在比例上相較於其他國際組織而言是較少的，不過所選的這 7 個國家在 2005 年二氧化碳排放量約佔此一組織總二氧化碳排放量的 98.88%；由以上的敘述可看出所選取之樣本國，雖然並沒有完全包含各國際組織中原有的國家數，但是大致上涵蓋到全世界各地區和各不同經濟發展程度的國家，或各國際組織中二氧化碳排放量的主要國家，因此，可知所選取之樣本國的特性符合相當的代表性。

## 第五節 原始資料之檢視

在進行實證分析之前，本研究將各國在 1990 至 2005 年間 GDP、二氧化碳排放量、總勞動力、國內資本形成毛額與化石能源消費的長期追蹤資料進行整理與分析，以初步了解各指標之間的關係，此舉將有助於此後實證模型或函數形式的設定。

### 一、1990 年至 2005 年各國二氧化碳排放量與 GDP 之關係

首先，107 國 GDP 與二氧化碳排放量在 1990 至 2005 年間之變動比例呈現於附錄一中，其中發現中國 GDP 變動比例約為 325.86%，而越南變動比例約為 198.10%，這兩個國家是 107 個國家中成長幅度最大的，而且相對的二氧化碳排放量的變動比例也是非常高，中國約為 131.23%，而越南則有 376.04%。若進一步探討 107

表 4-2 本研究選取的樣本國所屬之國際組織與其會員國

組織類別	組織名稱	包含在樣本內的國家	未包含在樣本內的國家
區域性國際組織	EU	法國、德國、義大利、荷蘭、比利時、盧森堡、愛爾蘭、英國、丹麥、希臘、西班牙、芬蘭、瑞典、奧地利、葡萄牙、愛沙尼亞、拉脫維亞、立陶宛、波蘭、捷克、匈牙利、斯洛伐克、斯洛維尼亞、羅馬尼亞、保加利亞、馬爾他	賽普勒斯
	ASEAN	汶萊、印尼、馬來西亞、菲律賓、新加坡、泰國、越南	柬埔寨、寮國、緬甸
	USAN	玻利維亞、哥倫比亞、厄瓜多、秘魯、阿根廷、巴西、巴拉圭、烏拉圭、委內瑞拉、智利	蓋亞那、蘇利南
	APEC	澳大利亞、日本、菲律賓、汶萊、韓國、俄羅斯聯邦、加拿大、馬來西亞、新加坡、智利、墨西哥、中華台北、中國、紐西蘭、泰國、美國、印尼、秘魯、越南	香港、巴布亞紐幾內亞
其他國際組織	OECD	澳大利亞、奧地利、比利時、加拿大、捷克、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、冰島、愛爾蘭、義大利、日本、韓國、盧森堡、墨西哥、馬爾他、荷蘭、紐西蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞典、瑞士、英國、美國	土耳其
	京都議定書附件 B	澳大利亞、奧地利、比利時、保加利亞、加拿大、克羅埃西亞、捷克、丹麥、愛沙尼亞、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、冰島、愛爾蘭、義大利、日本、拉脫維亞、立陶宛、盧森堡、摩洛哥、荷蘭、紐西蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、俄羅斯聯邦、斯洛伐克、斯洛維尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、烏克蘭、英國、美國	列支敦士登

資料來源：本研究整理自經濟部能源局（2007）。

個國家在1990至2005年間平均GDP與平均二氧化碳排放量之關係，為了避免因為國家大小造成離群值而影響分析，所以將平均二氧化碳排放量取對數之後，依平均GDP的大小由小至大排列，並將107個國家依世界銀行的分類標準分成高所得國家如圖4-1、中高所得國家如圖4-2、中低所得國家如圖4-3與低所得國家如圖4-4，由各圖可以發現不論是何種所得群的國家，大致上呈現平均GDP愈高的國家，平均二氧化碳排放量亦愈高的趨勢。

## 二、1990年至2005年各國投入要素與GDP之關係

而有關本研究所選取的投入要素指標，理論上投入要素愈多的國家，該國的經濟發展程度愈高，而以GDP指標來代表經濟發展程度的值亦應愈高，在本研究所選取的107個樣本國中，依平均GDP由小至大排列，且將各指標的平均值取對數之後，發現其中總勞動力指標與GDP之間的關係如圖4-5，可以約略看出總勞動力與GDP呈現正向之關係；而國內資本形成毛額與GDP之關係如圖4-6，則很明顯的呈現國內資本形成毛額與GDP之間是呈現正向的關係；最後，化石能源消費與GDP之關係如圖4-7，同樣可以看出與GDP之間成正向的關係。因此，可以反映出本研究所選取之投入要素的三種指標，符合理論上對於投入要素的定義，也就是滿足第二章對於投入要素須具強可拋性質（投入要素愈多，GDP產出愈多）的假設。

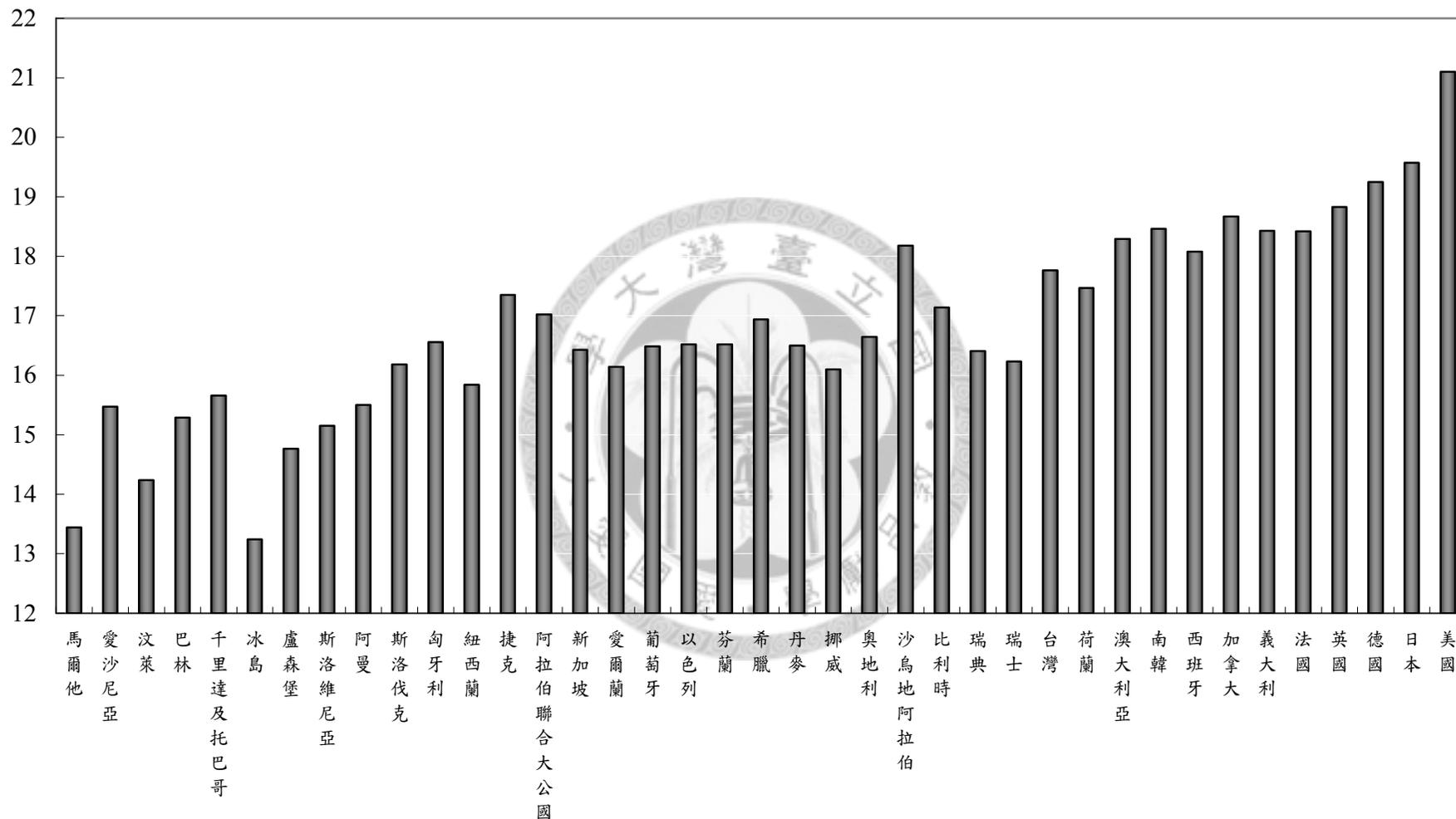
## 三、1990年至2005年各國國際組織與結盟集團五項指標之相關敘述統計

各國國際組織在1990年至2005年間平均GDP、二氧化碳排放量、總勞動力、國內資本形成毛額與化石能源消費呈現於表4-3，其中平均GDP最高的組織為已開發國家所組成的OECD，而APEC的平均二氧化碳排放量最高，主要是由於其包含全世界二氧化碳排放量大國的中國與俄羅斯聯邦，因此較OECD的平均二氧化碳排放量高。最後，有關107個國家在1990至2005年間五項指標之平均值則詳列於附錄二。

二氧化碳排放量

單位：取自然對數

33

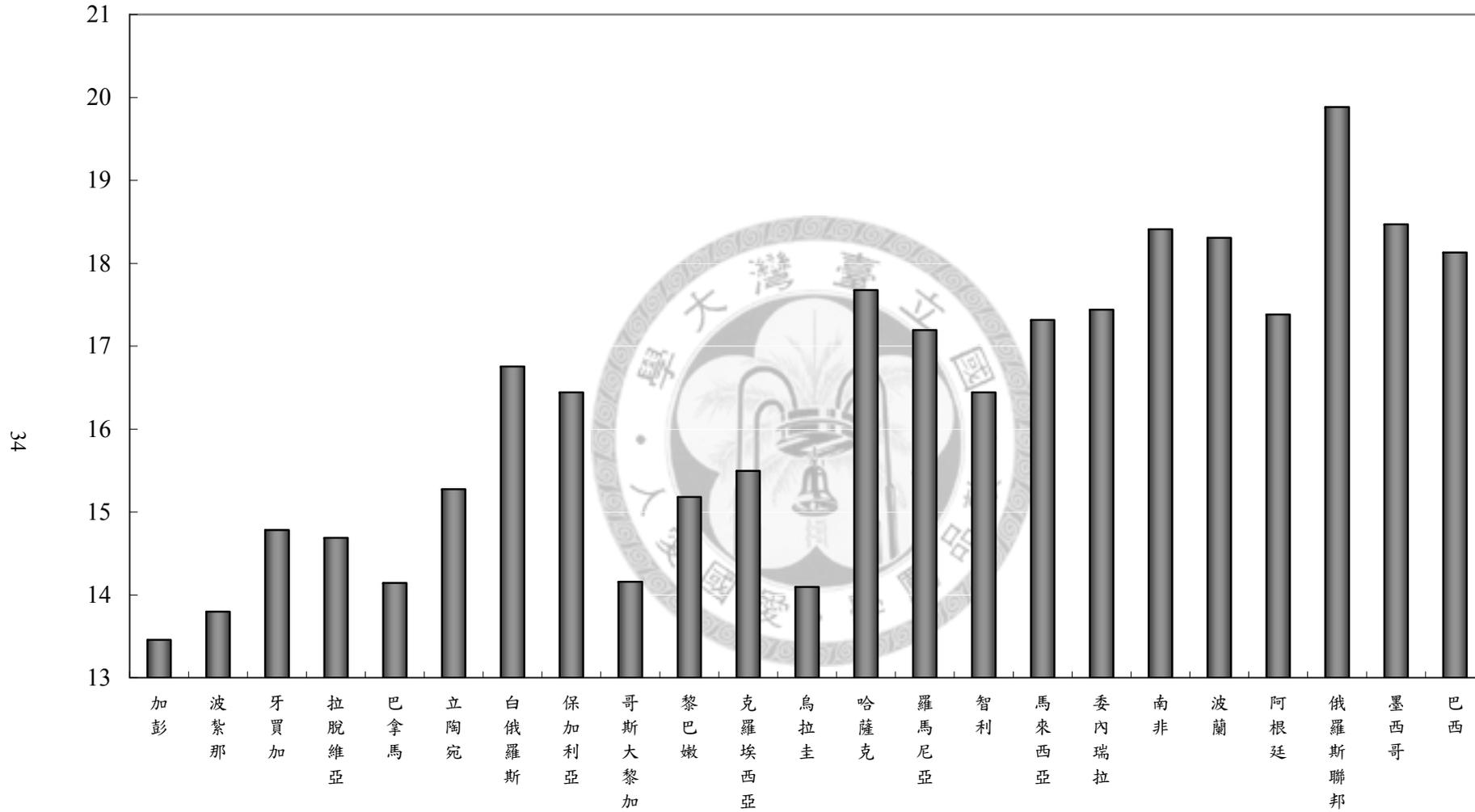


資料來源：本研究整理自 Marland、Boden 與 Andres (2008)；世界銀行 (2008)。

圖 4-1 高所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

二氧化碳排放量

單位：取自然對數



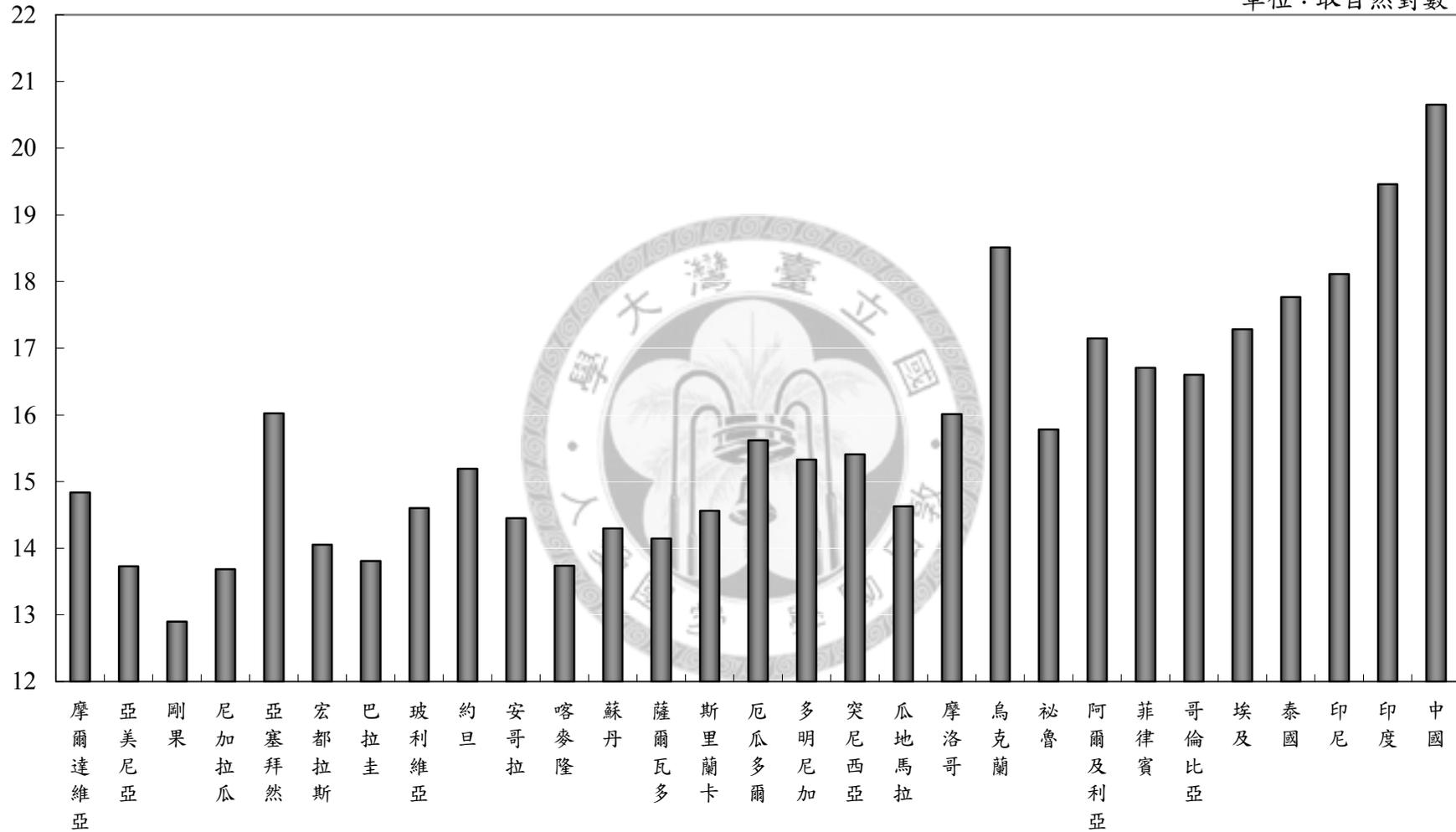
資料來源：同圖 4-1。

圖 4-2 中高所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

二氧化碳排放量

單位：取自然對數

35

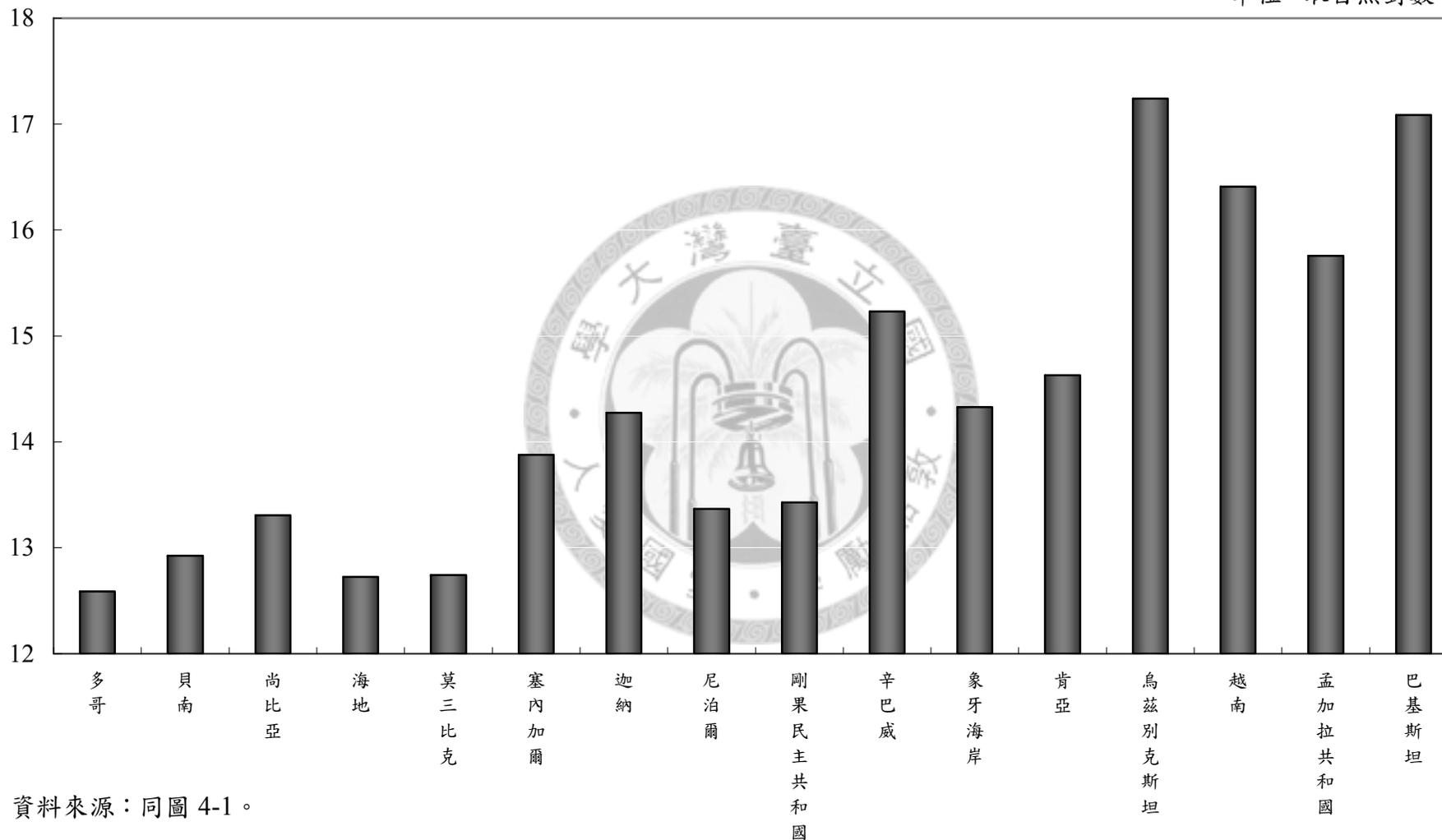


資料來源：同圖 4-1。

圖 4-3 中低所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

二氧化碳排放量

單位：取自然對數

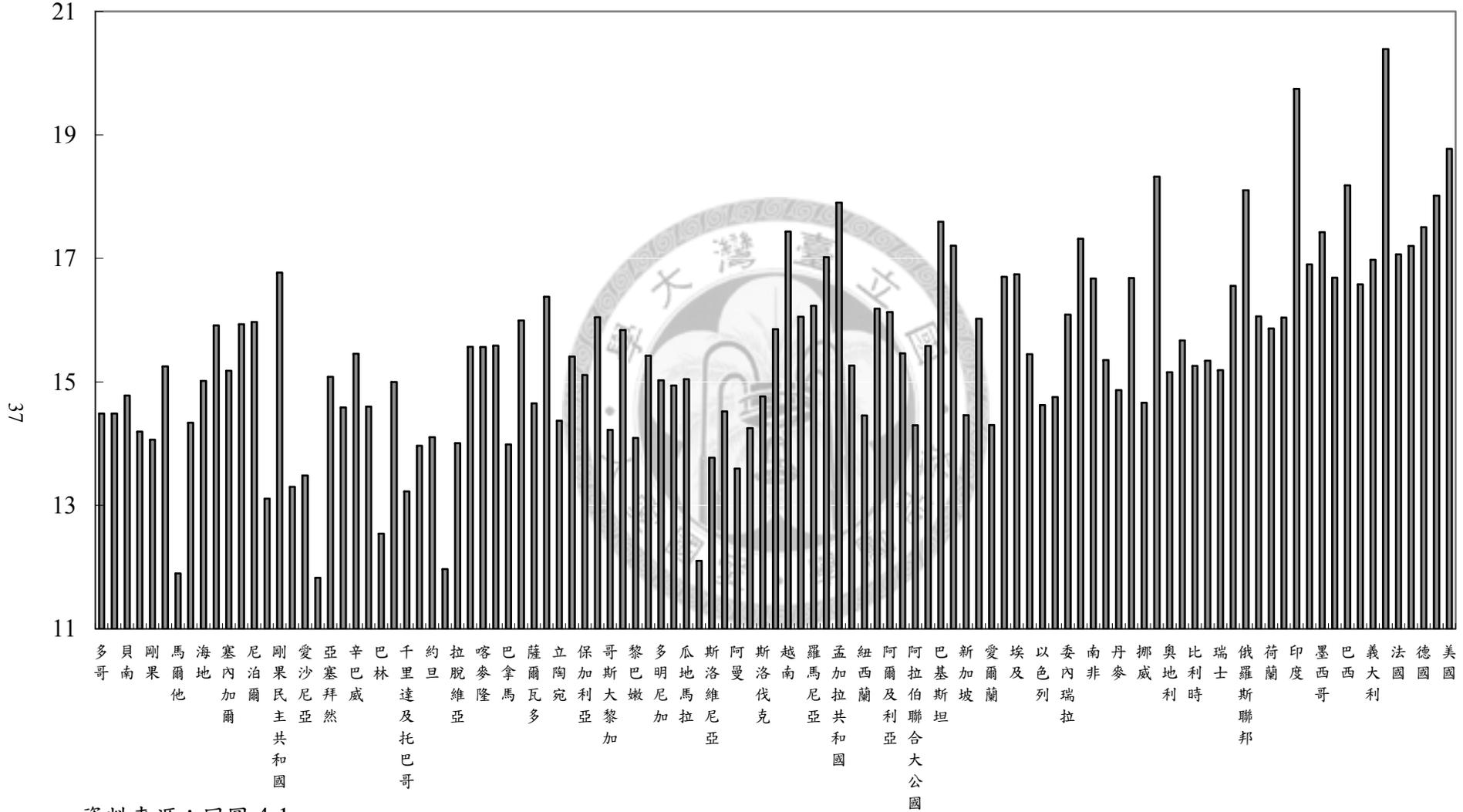


資料來源：同圖 4-1。

圖 4-4 低所得國家 1990-2005 年平均 GDP 與二氧化碳排放量之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

總勞動力

單位：取自然對數



資料來源：同圖 4-1。

圖 4-5 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與總勞動力之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

國內資本形成毛額

單位：取自然對數

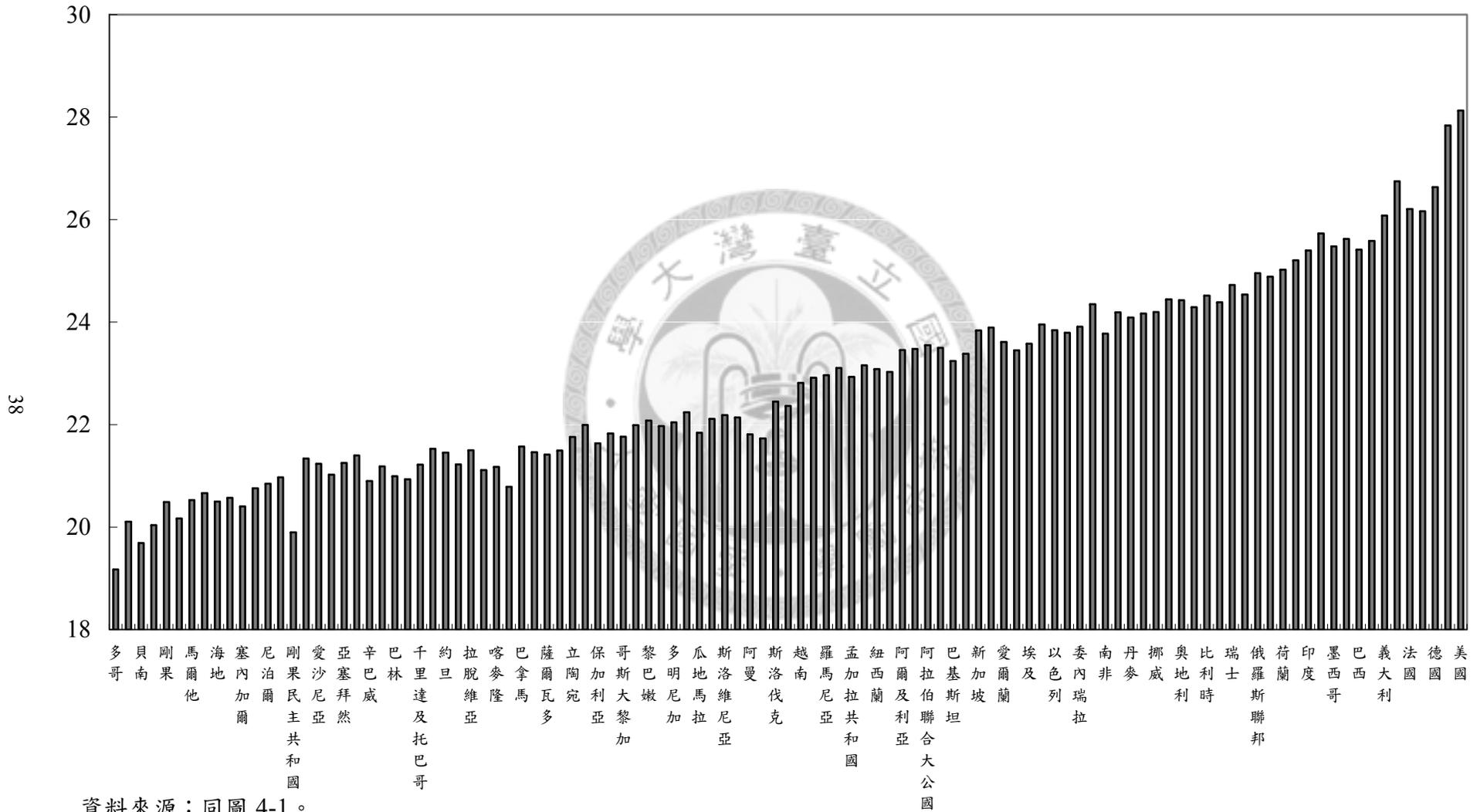
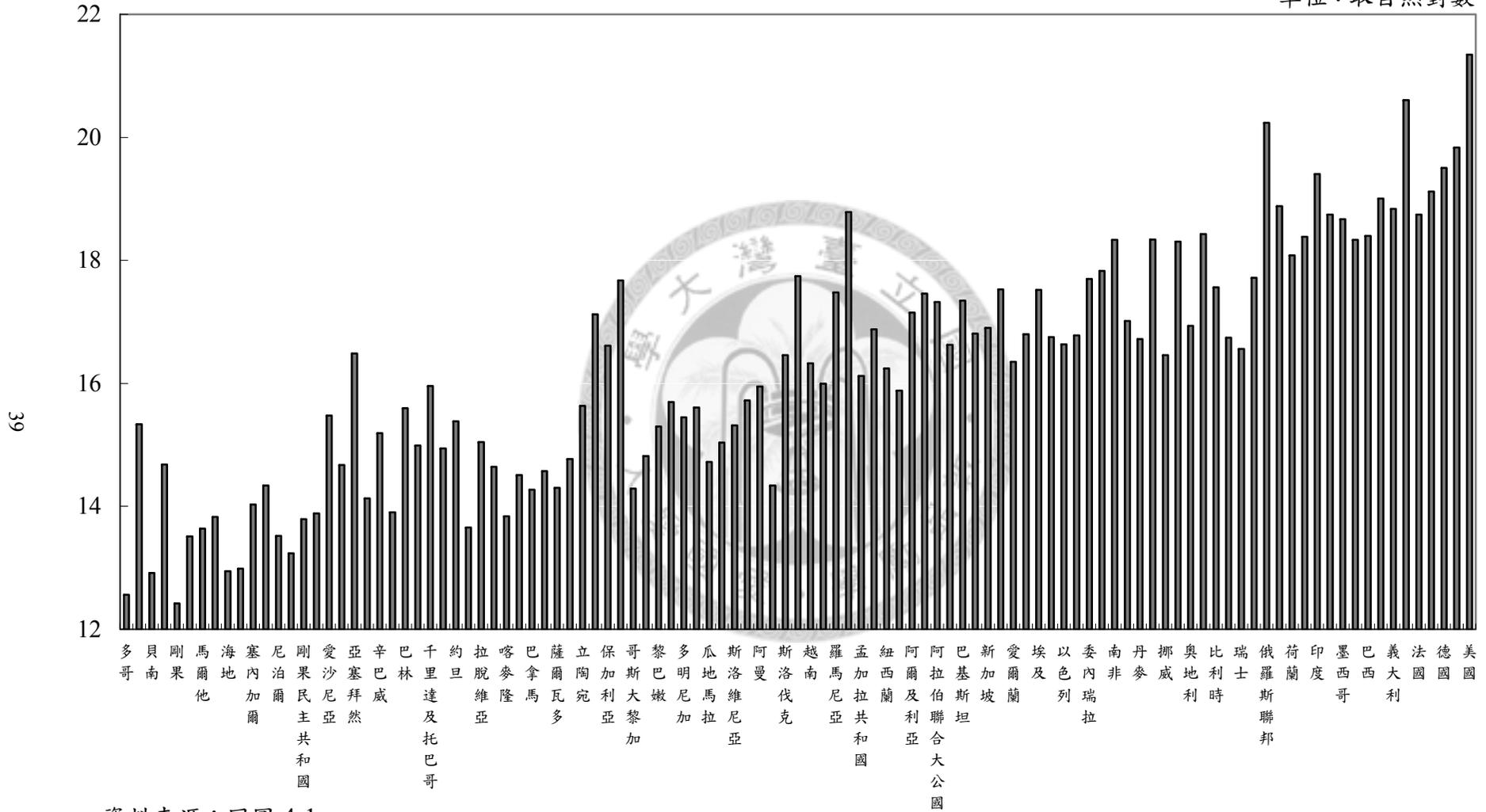


圖 4-6 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與國內資本形成毛額之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

化石能源消費

單位：取自然對數



資料來源：同圖 4-1。

圖 4-7 107 國 1990-2005 年平均 GDP 與化石能源消費之關係 (依 GDP 大小由低至高排列)

表 4-3 各組織與結盟在 1990 年至 2005 年間五項指標之平均值

組織名	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
EU	7,878,696	1,036,088	223,344	1,600,719	136,994
ASEAN	462,221	191,488	200,514	126,169	21,982
USAN	1,231,018	195,595	150,500	228,978	25,285
APEC	17,706,901	3,854,414	1,313,145	4,085,422	475,784
OECD	23,617,204	3,209,696	505,492	5,031,921	415,364
附件 B	23,116,904	3,615,073	574,728	4,881,178	473,638

資料來源：本研究整理自 Marland、Boden 與 Andres (2008)；世界銀行 (2008)。

註 a：GDP 的單位為百萬美元、二氧化碳排放量單位為千公噸、總勞動力的單位為千人、國內資本形成毛額的單位為百萬美元、化石能源消費的單位為萬公噸。



## 第五章 實證模型設定

為得知不同結盟與組織之排放權交易的可能價格，及在特定價格下的潛在買方與賣方國家，實證模型設定必須逐一完成以下四個階段之工作。首先，第一階段利用方向距離函數與影子價格模型的設定，推算出 107 國在 1990 至 2005 年間以社會成本所詮釋之二氧化碳邊際減量成本；第二階段則根據第一階段所推估出的二氧化碳邊際減量成本，以做為求得二氧化碳邊際減量成本與二氧化碳排放量在未來時間點上之關係；第三階段運用此關係式推估各國在未來時間點上之邊際減量成本，藉以做為推算出各國二氧化碳邊際減量成本函數之準備；最後，第四階段則將各國在不同時間點上所推估之二氧化碳邊際減量成本函數，透過二氧化碳排放權交易市場的實證模型設定，求出各國在不同交易情境設定下之可能交易價格與買賣方國家之決定。

### 第一節 估算二氧化碳邊際減量成本之實證模型設定

根據第二章對於影子價格模型的設定，本文依據 Chambers (1998) 的建議，選擇方向產出距離函數為二次方程式的函數形式，以進行二氧化碳邊際減量成本的推估，並且設定方向產出距離函數中衡量距離的方向  $g=(1,-1)$ ，因此，一個以 GDP 表示的意欲產出、以二氧化碳排放量來表示之非意欲產出與三個投入要素之方向產出距離函數可表示為 (5-1) 式

$$\begin{aligned} \bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) &= \alpha + \sum_{n=1}^3 \alpha_n x_n^{kt} + \beta_1 y^{kt} + \gamma_1 b^{kt} \\ &+ \frac{1}{2} \sum_{n=1}^3 \sum_{n'=1}^3 \alpha_{nn'} x_n^{kt} x_{n'}^{kt} + \frac{1}{2} \beta_2 y^{kt} y^{kt} + \frac{1}{2} \gamma_2 b^{kt} b^{kt} \\ &+ \sum_{n=1}^3 \nu_n x_n^{kt} b^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_n x_n^{kt} y^{kt} + \mu y^{kt} b^{kt} \end{aligned} \quad (5-1)$$

(5-1) 式中  $k$  表示國家、 $t$  表示年份、第  $k$  國在第  $t$  年之 GDP 以  $y^{kt}$  表示、二氧化碳排放量以  $b^{kt}$  表示、而  $x_n^{kt}$   $n=1,2,3$  則分別表示投入要素中之總勞動力、國內資本形成毛額與化石能源消費，此外，為了使方向產出距離函數滿足第二章 (2-8) 式之轉

換特性，(5-1) 式必須滿足下列條件

$$\alpha_{nn'} = \alpha_{n'n} \quad n \neq n' \quad (5-2)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 - \gamma_1 &= -1 \\ \beta_2 = \gamma_2 &= \mu \\ \delta_n &= v_n \quad n = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (5-3)$$

另外，由於本研究的資料特性是屬於長期追蹤資料，在 (5-1) 式中必須將各個國家效果 (country effect) 與時間效果 (time effect) 區別出來，於是本研究乃在截距項中加入虛擬變數，以解釋國家效果與時間效果對方向產出距離函數的影響，則 (5-1) 式的截距項 ( $\alpha$ ) 可以表示為 (5-4) 式

$$\alpha = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \eta^k C^k + \sum_{t=1}^T \lambda^t T^t \quad (5-4)$$

其中  $\eta^k$  與  $\lambda^t$  分別代表國家效果與時間效果的係數，而  $C^k$  與  $T^t$  則為兩種效果的虛擬變數，因此，當  $k' = k$  時， $C^k = 1$ ，否則  $C^k = 0$ ；而當  $t' = t$  時， $T^t = 1$ ，否則  $T^t = 0$ 。

實證模型的設定則根據 Aigner 與 Chu (1968) 使用線性規劃 (linear programming) 的方法來估計 (5-1) 式中之參數，但是為了使實證模型能夠收斂，在進行線性規劃前，必須先對資料進行平均標準化 (mean normalized) 的處理，亦即各國產出與投入要素指標的資料，必須先除以特定國家該指標 1990 至 2005 年之平均數，之後再放入模型中進行線性規劃處理，這樣做的目的不僅是為了能使實證模型收斂，也有助於縮小各指標值之間大小的差異，並且使各國都能在同一標準下進行生產效率的比較。而在 (5-1) 式中  $\bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1)$  表示一國之生產效率，且其值愈大表示生產效率愈低，因此，實證模型的設定將極小化各國各年度之生產效率值之加總，並透過線性規劃來推估各參數，表示如 (5-5) 式至 (5-11) 式

$$\text{Min} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T [\bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) - 0] \quad (5-5)$$

$$\text{s.t} \quad \bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) \geq 0, \quad k=1 \dots K, \quad t=1 \dots T \quad (5-6)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) / \partial y \leq 0, \quad k=1 \dots K, \quad t=1 \dots T \quad (5-7)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) / \partial b \geq 0, k=1 \dots K, t=1 \dots T \quad (5-8)$$

$$\partial \bar{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1) / \partial x_n \geq 0, k=1 \dots K, t=1 \dots T, n=1 \dots N \quad (5-9)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 - \gamma_1 &= -1, \beta_2 = \gamma_2 = \mu \\ \delta_n &= v_n \quad n=1 \dots N \end{aligned} \quad (5-10)$$

$$\alpha_{nn'} = \alpha_{n'n} \quad n \neq n' \quad (5-11)$$

其中限制式 (5-6) 隱含滿足第二章的 (2-1) 式，表示所有國家皆位於生產可能集合的範圍內；(5-7) 式與 (5-8) 式滿足影子價格模型中包絡定理的 (2-14) 式和 (2-15) 式；而 (5-9) 式表示當一國的產出不變時，投入要素愈多的國家，該國的生產效率愈低；最後 (5-10) 式與 (5-11) 式為方向產出距離函數的限制式，即隱含方向產出距離滿足轉換特性。

利用線性規劃的方法估算出 (5-1) 式之各係數之後，根據第二章所推導之影子價格模型，可以將 (2-16) 式表示為 (5-12) 式如下

$$MAC^{kt} = -p^{kt} \frac{\gamma_1 + \gamma_2 b^{kt} + \sum_{n=1}^3 v_n x_n^{kt} + \mu y^{kt}}{\beta_1 + \beta_2 y^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_n x_n^{kt} + \mu b^{kt}} \quad (5-12)$$

此外，在 (5-12) 式中的  $p$  表示 GDP 的價格，由於 GDP 是一種金額的數值，所以可令其  $p$  等於 1，將 (5-12) 式改寫成 (5-13) 式，因此，第  $k$  國在第  $t$  年之二氧化碳邊際減量成本表示如 (5-13) 式

$$MAC^{kt} = - \frac{\gamma_1 + \gamma_2 b^{kt} + \sum_{n=1}^3 v_n x_n^{kt} + \mu y^{kt}}{\beta_1 + \beta_2 y^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_n x_n^{kt} + \mu b^{kt}} \quad (5-13)$$

不過由於在進行線性規劃處理時，乃先將各指標資料做平均標準化的處理，因此，所求得之  $MAC^{kt}$  會是以平均數為單位來解釋，亦即例如當一國 1990 至 2005 年之 GDP 的平均數為 1,000 美元，二氧化碳排放量的平均數 500 噸時，則所求得

之  $MAC^{kt}$  的解釋為，當減量一個平均數（500 噸）的二氧化碳排放量時，該國必須付出  $MAC^{kt}$  個平均數（ $MAC^{kt} \times 1,000$  美元）的成本，於是，為了還原成原本的單位，必須將（5-13）式乘上該國 GDP 的平均數，然後再除以排放量的平均數，如此才能讓邊際減量成本的解釋為當減少一噸的二氧化碳排放量，所必須付出多少以美元 GDP 表示的成本。因此，最終邊際減量成本的估算，可以表示如（5-14）式，而其中  $\overline{y^k}$  與  $\overline{b^k}$  分別表示為第 k 國 GDP 與二氧化碳排放量的平均數

$$MAC^{kt} = - \frac{\gamma_1 + \gamma_2 b^{kt} + \sum_{n=1}^3 v_n x_n^{kt} + \mu y^{kt}}{\beta_1 + \beta_2 y^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_n x_n^{kt} + \mu b^{kt}} \times \frac{\overline{y^k}}{\overline{b^k}} \quad (5-14)$$

## 第二節 二氧化碳邊際減量成本與排放量之實證模型設定

為了推算出各個國家之二氧化碳邊際減量成本曲線，以供後續排放權交易的實證分析，在第二階段中，首先根據前一階段所估算的邊際減量成本，將各國各年份之二氧化碳邊際減量成本與二氧化碳排放量進行迴歸分析，此舉除了可以瞭解邊際減量成本與排放量間的關係外，更有助於推估各國在未來時間點上之邊際減量成本。而在模型設定方面，邊際減量成本除了受到排放量多寡的影響之外，生產效率亦是影響邊際減量成本的重要因素（Lansink, 2003）。一般來說，一國的生產效率愈高，該國的邊際減量成本愈低，此外，將排放量與生產效率的相互關係納入估計式中，可以幫助強化排放量與生產效率對邊際減量成本影響之連結，因此，實證模型設定如（5-15）式

$$MAC^{kt} = \beta_0 + \beta_1 CO_2^{kt} + \beta_2 eff^{kt} + \beta_3 CO_2^{kt} eff^{kt} + \varepsilon^{kt} \quad (5-15)$$

（5-15）式中  $MAC^{kt}$  表示由前一階段所估算之第 k 國在第 t 年二氧化碳邊際減量成本， $CO_2^{kt}$  表示第 k 國在第 t 年之二氧化碳排放量， $eff^{kt}$  為前一階段推算出來的第 k 國在第 t 年之生產效率值，亦即  $\overline{D}_0(x_n^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; 1, -1)$ ，而  $\varepsilon^{kt}$  為隨機誤差項。在進行（5-15）式的實證估計前，由於傳統上運用迴歸分析大多以橫斷面或時間數列資料為主，而本研究因使用蘊含訊息較豐富的長期追蹤資料進行分析研究，故若採用最小平

方法 (pooled OLS) 可能會產生估計上的偏誤，因此必需採在分析這類型資料之固定效果模型 (fixed effect model) 與隨機效果模型 (random effect model) 進行實證模型的迴歸分析。

首先第一種固定效果模型，在文獻上又稱作最小平方虛擬變數模型 (least squares dummy variable model, LSDV)，是屬於古典迴歸模型的一種，其函數型式可表示為 (5-16) 式如下

$$MAC^{kt} = \beta_0^k + \beta_1 CO_2^{kt} + \beta_2 eff^{kt} + \beta_3 CO_2^{kt} eff^{kt} + \varepsilon^{kt} \quad (5-16)$$

在 (5-16) 式中 k 表示國家，t 表示年份，其中截距項  $\beta_0^k$  在文獻上稱作個別效果 (individual effect)，不會隨著時間變動而改變，但是會隨著不同國家有不同的個別效果。

此外，在檢定是否適用固定效果模型時，可利用 F 檢定來判斷，相關檢設檢定與檢定統計量如 (5-17) 式所表示

$$\begin{cases} H_0: \beta_0^1 = \beta_0^2 = \dots = \beta_0^K \\ H_1: \beta_0^k \text{ 不全相等} \end{cases}$$

$$F = \frac{(SSE_R - SSE_U) / (n-1)}{SSE_U / (nT - n - K + 1)} \sim F(n-1, (nT - n - K + 1)) \quad (5-17)$$

(5-17) 式中  $SSE_R$  為受限制模型的殘差平方和，即假設 (5-16) 式中  $\beta_0^k = \beta_0$  後，估計該式所得到之殘差平方和； $SSE_U$  則為不受限制模型的殘差平方和，即直接估計 (5-16) 式所得到的殘差平方和；(n-1) 為虛無假設裡限制條件的個數；(nT-N-K+1) 是不受限制模型的自由度。因此，若拒絕虛無假設，則  $\beta_0^k$  不全相等，表示國家間存在個別效果，表示採用固定效果模型進行迴歸分析是適當的；反之，則採用傳統最小平方方法來估計。

第二種方法為隨機效果模型又稱為誤差成分模型 (error component model)，此一方法不同於固定效果模型的地方是，假設  $\beta_0^k$  為隨機變數，即假設表現各國差異

的截距項是以隨機變數的方式來呈現，因此，一般將隨機效果模型之函數型式表示為 (5-18) 式如下

$$MAC^{kt} = \beta_0 + \beta_1 CO_2^{kt} + \beta_2 eff^{kt} + \beta_3 CO_2^{kt} eff^{kt} + u^k + \varepsilon^{kt} \quad (5-18)$$

$\beta_0$  為截距項， $u^k$  代表隨機變數，為第k國家特有，且不隨時間而改變，而當利用此模型來進行迴歸分析時，通常有如 (5-19) 式之各項假設

$$\begin{aligned} E(u^k) &= E(\varepsilon^{kt}) = 0, \quad E[(\varepsilon^{kt})^2] = \sigma_\varepsilon^2, \quad E[(u^k)^2] = \sigma_u^2 \\ E(u^j \varepsilon^{kt}) &= 0, \quad \text{對所有 } k, t \text{ 和 } j \\ E(\varepsilon^{kt} \varepsilon^{js}) &= 0, \quad \text{若 } t \neq s \text{ 或 } k \neq j \\ E(u^k u^j) &= 0, \quad \text{若 } k \neq j \end{aligned} \quad (5-19)$$

從 (5-18) 式可以發現隨機效果模型中的截距項是隨機變數，不同於固定效果模型會因不同國家而有不同的截距項  $\beta_0^k$ ，而隨機效果模型將各國差異表現於殘差項中，即  $\beta_0^k = \bar{\beta}_0 + u^k$ 。在隨機效果模型與最小平方法模型的選擇上，一般是採用 Lagrange Multiplier 檢定 (LM-test) 以檢定隨機截距項是否存在，相關假設檢定與檢定統計量如 (5-20) 式所表示

$$\begin{cases} H_0 : \sigma_u^2 = 0 \\ H_1 : \sigma_u^2 \neq 0 \end{cases}$$

$$LM = \frac{nT}{2(T-1)} \left[ \frac{\sum_{k=1}^K \left[ \sum_{k=1}^T e_{kt} \right]^2}{\sum_{k=1}^n \sum_k e_{kt}^2} - 1 \right]^2 \quad (5-20)$$

其中  $e_{kt}$  是採用最小平方法估計所得到的殘差值；虛無假設中  $\sigma_u^2 = 0$  表示樣本之截距項非隨機變數，因此，若拒絕虛無假設，則表示樣本之截距項是隨機變數，故採

用隨機效果模型進行迴歸分析；反之，則採用傳統最小平方法來估計。

固定效果與隨機效果各有優缺點，其中固定效果需使用虛擬變數進行估計，易造成自由度減少，而隨機效果則不會有此影響；但是，隨機效果須假設  $\varepsilon^{kt}$  為獨立且解釋變數間不相關，而固定效果不須有此假設，且固定效果模型可保留個別國家的特殊性。有鑑於此，在進行長期追蹤資料的迴歸分析之前，必須先對資料進行檢定來判斷該使用何種模型進行分析，而常使用的判斷標準即利用 Hausman  $\chi^2$  檢定，此方法是檢定  $u^k$  與解釋變數之間是否具有相關性，而假設檢定與檢定統計量如 (5-21) 式所示

$$\begin{cases} H_0 : E(u^k, X_i^{kt}) = 0 \\ H_1 : E(u^k, X_i^{kt}) \neq 0 \end{cases}$$

$$m = (\hat{\beta} - \hat{b}_s) \hat{A}^{-1} (\hat{\beta} - \hat{b}_s) \sim \chi_{(l-1)}^2 \quad (5-21)$$

其中  $\hat{b}_s$  是隨機效果模型不含截距項的係數估計式向量，而  $\hat{A} = \text{Cov}(\hat{\beta}) - \text{Cov}(\hat{b}_s)$  代表兩種模型斜率項係數估計式的估計共變數矩陣之差；因此，若拒絕虛無假設，則表示  $E(u^k, X_i^{kt}) \neq 0$ ，個別效果與自變數之間具有相關性，應採用固定效果來分析；反之，則表示個別效果與自變數之間不具有相關性，則應採用隨機效果模型。

### 第三節 二氧化碳邊際減量成本函數之實證模型設定

為得知各結盟或組織在未來時間點上，各種不同交易情境下之交易結果，必須要有各國在未來不同時間點上之邊際減量成本曲線，才能建構後續排放權交易的實證模型；而在前一個階段中，估算而得的邊際減量成本函數，最主要的目的即是用來預測未來各國邊際減量成本，藉以推算未來各國二氧化碳減量與邊際減量成本之關係；因此，在這一階段中將經由 (5-16) 或 (5-18) 式把未來各國二氧化碳排放量之預測值代入，以推算出該國各年度之邊際減量成本。

然而依第三章二氧化碳排放權交易模型之概念架構得知，各國的邊際減量成本曲線，當以二氧化碳排放量為解釋變數時，排放量與邊際減量成本應呈現負向

關係；反之，以二氧化碳的減量做為解釋變數，則兩者間呈正向關係。又由第四章對資料初步的分析可知，二氧化碳排放量與GDP之間呈現正相關，表示經濟發展程度愈好的國家，二氧化碳的排放量就愈多，於是以社會成本為降低二氧化碳代價之考量時，經濟發展程度愈高的國家，理論上邊際減量成本較高。因而由(5-16)或(5-18)式也將得到二氧化碳排放量愈高而邊際減量成本愈大的結果，或者二氧化碳減量愈多，邊際減量成本愈低的情況，亦即將(5-16)或(5-18)式進行迴歸分析，結果分別如表5-1與表5-2所示，發現不論是用排放量 $CO_2^{kt}$ 或是犧牲一期資料，以上一期扣掉當期排放量做為二氧化碳的減量 $(CO_2')^{kt}$ 來分析，兩者的結果都會與第三章所提及的概念相反。依此而來的邊際減量成本函數將無法反應不同國家減少一單位二氧化碳排放所付出成本間之差異，因而也無法直接利用此一邊際減量成本函數，做為各國對二氧化碳可能買賣交易的基礎。於是必須利用(5-16)或(5-18)式二者之一估計出來較理想的結果，另行估算一個使各國得以交易之二氧化碳減量與邊際減量成本之關係。

表5-1 二氧化碳排放量與邊際減量成本迴歸分析之估計值

變數	固定效果模型	隨機效果模型
截距項		1646.44*** (11.25)
$CO_2^{kt}$	5.76E-06*** (6.27)	2.31E-06*** (3.82)
$eff^{kt}$	3829.49*** (10.91)	3605.55*** (10.46)
$CO_2^{kt} eff^{kt}$	-6.15E-07 (-0.23)	-3.59E-06 (-1.39)
adj $R^2$	0.69503	0.59D+10
F 值	36.77	
LM		5455.71
Hausman $\chi^2$		44.09
樣本數	1712	1712

資料來源：本研究估算。

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

表5-2 二氧化碳減量與邊際減量成本迴歸分析之估計值

變數	固定效果模型	隨機效果模型
截距項		1773.89*** (12.30)
$(CO_2')^{kt}$	-1.22E-05*** (-3.10)	-1.16E-05*** (-2.94)
$eff^{kt}$	4206.26*** (11.65)	3854.33*** (10.92)
$(CO_2')^{kt} eff^{kt}$	2.98E-05 (0.92)	2.58E-05 (0.80)
adj $R^2$	0.72243	0.33D-02
F 值	39.30	
LM		5196.41
Hausman $\chi^2$		25.95
樣本數	1605	1605

資料來源：本研究估算。

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

由於各國在各年度如未進行任何的減量時，表示該國正處於BAU下的排放水準，此時不必支付任何減量成本，因此，若是以二氧化碳的減量做為解釋變數，表示邊際減量成本函數的設定將只需要通過原點就可以滿足此一特性。進而在假設各國的邊際減量成本為線性函數型式下，二氧化碳減量與邊際減量成本呈正相關，且邊際減量成本曲線除通過原點外，尚需利用 (5-16) 或 (5-18) 式所估算之邊際減量成本來推估，如此第k國在第t年的邊際減量成本函數型式設定為下列 (5-22) 式

$$MAC^{kt} = \alpha_0 (CO_2')^{kt} \quad (5-22)$$

其中  $(CO_2')^{kt}$  表示第k國在第t年二氧化碳的減量， $\alpha_0$  為待推算的參數，且為邊際減量成本曲線的斜率。依此所估算而得之邊際減量成本，除反應社會成本的意涵外，理論上經濟發展程度愈高的國家，當進行減量政策，必須付出相對高成本之情況

下，方有可能找尋邊際減量成本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。

而參數 $\alpha_0$ 的推算，必須先釐清由第二章影子價格模型推論出之邊際減量成本的意涵，首先，估算出的邊際減量成本除是以社會成本的意涵來表示之外，透過(2-9)式對收入函數的設定能瞭解，運用影子價格模型所估算的邊際減量成本亦是一種平均的概念，即所推論出的邊際減量成本是指一國在當年度之排放水準下進行減量政策後，平均每減一單位二氧化碳所必須付出的社會成本。因此，假設第k國在第t年二氧化碳排放量為 $CO_2^{kt}$ ，依影子價格模型所推算出的第k國在第t年之二氧化碳邊際減量成本為 $MAC^{kt}$ ，此時若該國將當年度所有排放量全部減量，所必須付出的減量成本即為 $MAC^{kt} \times CO_2^{kt}$ 。

因此，參數 $\alpha_0$ 即利用此一概念，並配合(5-22)式所設定之邊際減量成本曲線的性質估算而來的，推估的方法可從圖5-1看出，若一國將當年度所有二氧化碳的排放量全數減少，其減量數為 $CO_2^{kt}$ ，此時減量所付出的成本為圖中斜線部分的面積，即 $\alpha_0 CO_2^{kt} CO_2^{kt} / 2$ ，相對應於邊際減量成本是一種平均的概念來看，由於所減少的數量是 $CO_2^{kt}$ ，因此，付出的減量成本為 $MAC^{kt} \times CO_2^{kt}$ ，於是利用一國的減量成本可以計算邊際減量成本與二氧化碳減量之關係，在 $MAC^{kt} \times CO_2^{kt}$ 恆等於 $\alpha_0 CO_2^{kt} CO_2^{kt} / 2$ 之情況下，透過此一恆等條件式，即可推算出(5-22)式中的參數 $\alpha_0$ 等於 $2 \times MAC^{kt} / CO_2^{kt}$ 。

依此在未來各時間點上，前述推算之邊際減量成本與二氧化碳減量之關係之一般式則表示為(5-23)式，假定第k國在第t年BAU下之二氧化碳排放量為 $(CO_2^{kt})_{BAU}$ ，透過(5-16)或(5-18)式二者中較佳之結果推算出第k國在第t年BAU排放水準下之邊際減量成本為 $MAC_{BAU}^{kt}$ ，則第k國在第t年之二氧化碳邊際減量成本曲線將表示如下

$$MAC^{kt} = \frac{2 \times MAC_{BAU}^{kt}}{(CO_2^{kt})_{BAU}} (CO_2')^{kt} \quad (5-23)$$

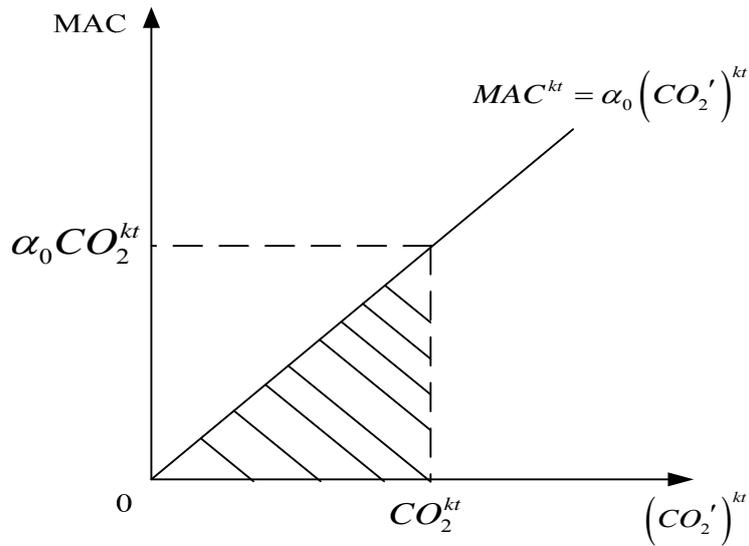


圖 5-1 二氧化碳之邊際減量成本曲線

#### 第四節 二氧化碳排放權交易市場之實證模型設定

經由前一階段所推估出之二氧化碳減量與邊際減量成本之關係，在此一階段將建構碳排放權交易的實證模型，用以探討在未來各時間點上，各國面對不同的交易情境下之交易結果。根據第三章對二氧化碳排放權交易制度的闡述，一國在面對減量政策時，該國的減量成本主要可以分為兩個部份，其一為該國施行減量政策所必須付出以GDP為代價的社會成本，換言之，此一成本表示為對該國當年度邊際減量成本曲線由零積分到二氧化碳的減量數，亦即為前一階段所估算出之(5-23)式進行積分，此一部份的減量成本可以表示為下式

$$\int_0^{(CO_2')^k} MAC^k((CO_2')^k) d(CO_2')^k \quad (5-24)$$

而第二部份為當該國必須減少的二氧化碳量不足其初始分配到的數量時，則必須進入交易市場購買不足的部份，而此一部份的減量成本可以表示為下式

$$p\left(\overline{(CO_2')^k} - (CO_2')^k\right) \quad (5-25)$$

其中(5-25)式中的  $p$  表示交易市場上一單位二氧化碳排放權的價格，而  $\overline{(CO_2')^k}$  表示第  $k$  國初始分配到必須減少的二氧化碳減量數額。

而至於各國初始應分配多少二氧化碳之減量數額，考量第三章對初始排放權公平性的探討，認為不僅要能呈現初始排放權分配應具備之三項原則的內涵外，還必須符合國際由上而下的分配方式，且能滿足本研究選擇之107個樣本國。最後乃選擇Heinrich Böll、Christian Aid、EcoEquity與Stockholm Environment四個機構在2008年聯合發布的「The Greenhouse Development Rights Framework」第二版報告書中之RCI，做為分配各國初始二氧化碳減量數量之依據。其計算出未來2010年、2020年與2030年各國的RCI，以該國在進行全球二氧化碳減量的工作中，所必須承擔起的減量比例來呈現，因此，將當年度減量目標的總額乘上該國的RCI，即可得到當年度該國所分配到二氧化碳的減量數量，此即  $\overline{(CO_2')^k}$ 。

而在「The Greenhouse Development Rights Framework」第二版報告書中，EcoEquity與Stockholm Environment（2009）建立一個資料庫「Greenhouse Development Rights Online Calculator」，其中有包含各國在2010年、2020年與2030年二氧化碳排放量之預測值，其值是以各國在未來這三個年份二氧化碳排放量佔該國1990年排放量之比例來呈現，因此，各國二氧化碳排放量在這些年份之預測值，即以該資料乘上該國在1990年二氧化碳排放量而來，並根據(5-16)或(5-18)式估計出的結果，分別將各國預測值代入，以推算出各國在2010年、2020年與2030年之邊際減量成本，最後經由(5-23)式求得邊際減量成本曲線以供排放權交易分析之用。

因此，根據第三章Dales（1968）排放權交易市場的概念，在進行碳排放權交易時，設定全體參與交易排放權買賣交易的國家是以追求全體減量成本最小化為目標，又全體二氧化碳所減少的數量絕不會超過全體分配到減量目標數量之限制下（Montgomery，1972；Atkinson & Tietenberg，1982；Stavins，1995），任何組織與結盟之排放權交易問題即可設定如下

$$\text{Min}_{p, (CO_2')^k} TC = \sum_{k=1}^K \int_0^{(CO_2')^k} MAC^k \left( (CO_2')^k \right) d(CO_2')^k + p \left( \overline{(CO_2')^k} - (CO_2')^k \right) \quad (5-26)$$

$$s.t \quad \sum_{k=1}^K (CO_2')^k = \sum_{k=1}^K \overline{(CO_2')^k} \quad (5-27)$$

透過數學規劃的處理，對 (5-26) 與 (5-27) 式進行求解，得出市場均衡價格  $p^*$  與各國均衡二氧化碳減量為  $(CO_2')^{k*}$ ，而如果該國的均衡減量  $(CO_2')^{k*}$  小於初始分配二氧化碳之減量  $\overline{(CO_2')^k}$  時，則該國在此交易市場上為賣方，反之則為買方。最後將均衡價格與各國之均衡減量帶回 (5-26) 式，即可求出交易參與國為了達到該情境下之減量目標所付出之社會成本。



## 第六章 實證結果分析

實證結果之分析則依第五章所建構之二氧化碳排放權交易模型開始，由第一階段運用影子價格模型的設定，透過線性規劃的方法求出方向產出距離函數之各參數值，藉以估算二氧化碳的邊際減量成本；接著選取最適當的長期追蹤資料模型來進行排放量與邊際減量成本的迴歸分析；最後利用在不同交易情境來進行二氧化碳排放權市場中，各個國家所扮演的角色與均衡交易價格之分析。

因第二章對二氧化碳邊際減量成本的概念架構是以社會成本詮釋，此與技術成本解釋之邊際減量成本不同。而此種差異將造成後續在分析排放權交易市場上，各個國家所扮演之買賣角色將與只考量技術成本時有所不同。因此，為了瞭解不同程度經濟發展的國家與二氧化碳邊際減量成本之關係，在實證結果分析的第一節與第二節，將依照影子價格模型估算之 107 個樣本國在 1990 至 2005 年間的邊際減量成本，經由長期追蹤資料的迴歸分析，呈現出以社會成本詮釋之邊際減量成本與不同發展階段國家的關係。

而實證結果分析的第三節，則根據前面所選出模型之估計結果，透過第五章對邊際減量成本函數與排放權交易市場的模型設定，所完成之交易結果分析。而不同情境之設計，是配合「The Greenhouse Development Rights Framework」上可計算出未來 2010 年、2020 年與 2030 年之 BAU 的排放量與初始排放權的分配，而將情境設定為此三個時期來討論，其中由於 2010 年仍在京都議定書規定的期間內，且國際上只有 EU 與部份附件 B 國家有進行二氧化碳排放權交易之經驗，於是在 2010 年將分別設定 EU 與附件 B 國家兩個集團內國家進行排放權交易；而 2020 年，排放權交易機制的發展將日漸成熟，因此，在此一時期乃設定 EU、ASEAN、USAN、APEC 與 OECD 五個組織，由組織內國家進行排放權交易來達到減量二氧化碳的目標；至於 2030 年，將探討全世界 107 個樣本國一起進行排放權交易之各項相關結果。

### 第一節 二氧化碳邊際減量成本之估算結果

首先，根據第五章對二氧化碳邊際減量成本之模型設定，利用線性規劃的方法估計 (5-1) 式中各參數，由於模型的設定是由生產理論出發，而愈多的國家一

起進行分析能使生產可能集合更趨於完整性，估計出的邊際減量成本更精確，因此，將在估算邊際減量成本時將以 107 個樣本國一起估計而非以組織分類來估算。而所估計方向產出距離函數中的各參數值結果，呈現於表 6-1，其中國家效果與時間效果的參數估計值則詳列於附錄三中。

表 6-1 方向產出距離函數之參數估計值

係數	解釋變數	線性規劃估計值
$\alpha_0$	截距項	0.946
$\alpha_1$	$x_1$	0.024
$\alpha_2$	$x_2$	0.260
$\alpha_3$	$x_3$	0.010
$\beta_1$	$y$	-1.192
$\gamma_1 = \beta_1 + 1$	$b$	-0.192
$\alpha_{11}$	$x_1x_1$	-0.009
$\alpha_{12}$	$x_1x_2$	0.002
$\alpha_{13}$	$x_1x_3$	-0.003
$\alpha_{22}$	$x_2x_2$	0.069
$\alpha_{23}$	$x_2x_3$	-0.002
$\alpha_{33}$	$x_3x_3$	0.00027
$\beta_2 = \gamma_2 = \mu$	$y^2, b^2, yb$	0.280
$V_1 = \delta_1$	$x_1y, x_1b$	-0.003
$V_2 = \delta_2$	$x_2y, x_2b$	-0.096
$V_3 = \delta_3$	$x_3y, x_3b$	-0.001

資料來源：本研究估算。

由此估計出的參數值分別代入 (5-1) 式與 (5-14) 式，以求出各國在 1990 至 2005 年間之生產效率值與二氧化碳的邊際減量成本。表 6-2 依國家經濟發展程度與邊際減量成本的大小依序呈現 107 個樣本國在這 16 年間平均的邊際減量成本與生產效率值，其中以瑞士為例，結果表示在 1990 至 2005 年間，該國平均每減一噸二氧化碳的排放量，必需付出 7,691 美元的成本，也就是說瑞士為了減少一噸二氧化碳排放量，必須犧牲 GDP 7,691 美元；而生產效率值愈小表示該國生產效率愈高，瑞士的生產效率為 0.041，代表該國可同時減少總勞動力、實質國內資本形成毛額與化石能源消費三種投入要素 4.1%，來達到目前 GDP 與二氧化碳排放量的水準；另外由表 6-2 可以發現，在 107 國裡邊際減量成本最高的前兩名國家分別

表 6-2 107 國在 1990-2005 年間平均邊際減量成本與生產效率

國家	MAC <sup>a</sup>	生產效率	國家	MAC <sup>a</sup>	生產效率
瑞士	7,691	0.041	汶萊	1,433	0.074
瑞典	6,186	0.042	阿拉伯聯合大公國	1,162	0.107
挪威	5,981	0.053	高 匈牙利	1,077	0.041
日本	5,290	0.047	所 沙烏地阿拉伯	867	0.082
冰島	5,229	0.023	得 斯洛伐克	678	0.056
法國	4,569	0.035	群 巴林	661	0.110
義大利	3,944	0.161	國 捷克共和國	596	0.048
奧地利	3,933	0.035	家 千里達及托巴哥	498	0.080
丹麥	3,697	0.044	愛沙尼亞	398	0.121
荷蘭	3,309	0.031	平均	2,670	0.065
英國	3,269	0.023	烏拉圭	5,362	0.087
愛爾蘭	3,007	0.110	哥斯大黎加	3,922	0.071
德國	2,868	0.029	加彭	3,161	0.141
比利時	2,860	0.037	巴西	3,079	0.065
西班牙	2,847	0.050	巴拿馬	2,955	0.050
芬蘭	2,773	0.042	阿根廷	2,725	0.067
以色列	2,733	0.041	波黎那	2,117	0.062
葡萄牙	2,642	0.039	中 智利	1,935	0.044
盧森堡	2,557	0.093	高 墨西哥	1,822	0.033
紐西蘭	2,368	0.040	所 黎巴嫩	1,570	0.048
希臘	2,260	0.037	得 克羅埃西亞	1,259	0.275
美國	2,241	0.014	群 拉脫維亞	1,259	0.144
新加坡	2,186	0.186	國 委內瑞拉	1,116	0.116
台灣	2,115	0.107	家 牙買加	1,111	0.094
加拿大	1,911	0.031	馬來西亞	1,096	0.134
馬爾他	1,824	0.152	立陶宛	1,081	0.083
斯洛維尼亞	1,763	0.078	波蘭	623	0.082
南韓	1,722	0.043	羅馬尼亞	505	0.052
澳大利亞	1,554	0.041	南非	474	0.027
阿曼	1,449	0.110	保加利亞	358	0.094

高  
所  
得  
群  
國  
家

表 6-2 (續)

國家	MAC <sup>a</sup>	生產效率	國家	MAC <sup>a</sup>	生產效率
白俄羅斯	258	0.118	約旦	788	0.060
俄羅斯聯邦	245	0.140	阿爾及利亞	722	0.059
哈薩克	170	0.060	印度	574	0.035
平均	1,661	0.091	中國	477	0.168
喀麥隆	3,930	0.119	亞塞拜然	272	0.353
薩爾瓦多	3,310	0.060	摩爾達維亞	260	0.646
剛果	3,127	0.127	烏克蘭	157	0.240
瓜地馬拉	3,022	0.099	平均	1,631	0.117
蘇丹	2,955	0.107	莫三比克	4,769	0.086
斯里蘭卡	2,812	0.072	海地	4,307	0.298
巴拉圭	2,690	0.079	剛果民主共和國	3,262	0.135
祕魯	2,660	0.042	尼泊爾	3,149	0.069
中 宏都拉斯	2,201	0.086	孟加拉共和國	2,480	0.049
低 安哥拉	1,967	0.202	象牙海岸	2,182	0.153
所 哥倫比亞	1,843	0.050	肯亞	2,095	0.087
得 尼加拉瓜	1,537	0.052	貝南	2,061	0.070
群 摩洛哥	1,527	0.060	尚比亞	1,998	0.073
國 菲律賓	1,510	0.053	多哥	1,628	0.139
家 多明尼加共和國	1,449	0.077	塞內加爾	1,526	0.049
突尼西亞	1,366	0.034	迦納	1,112	0.071
玻利維亞	1,342	0.063	越南	1,020	0.104
埃及	1,123	0.062	巴基斯坦	1,019	0.048
厄瓜多爾	1,009	0.103	辛巴威	636	0.104
泰國	922	0.053	烏茲別克斯坦	165	0.061
印尼	877	0.113	平均	2,088	0.100
亞美尼亞	857	0.110			

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳邊際減量成本的單位為美元/噸。

為瑞士的 7,691 美元與瑞典的 6,186 美元，而最低的則為烏克蘭的 157 美元與烏茲別克斯坦的 165 美元；而在生產效率方面，效率最好的國家為美國的 0.014，最差的是摩爾達維亞的 0.646。

此外，若以不同經濟發展程度來看邊際減量成本，可以發現高所得群國家之平均邊際減量成本最高，約為 2,670 美元；而平均邊際減量成本最低的則為中低所得群的國家，約只有 1,631 美元，符合預期之以社會成本來解釋邊際減量成本的結果，然其中低所得國家並非平均邊際減量成本最低的所得群之原因，是由於低所得群國家中，例如海地之生產效率只有 0.298 較差，故邊際減量成本較高而拉高平均值，因此，相較於中低所得群，低所得群國家的平均邊際減量成本是較高的。

## 第二節 二氧化碳排放量與邊際減量成本間的關係

由前一階段求得之各國二氧化碳邊際減量成本與生產效率值，此一階段將與二氧化碳的排放量進行長期追蹤資料之迴歸分析，以能建立二氧化碳排放量與邊際減量成本的關係。因此，根據第五章第二節對長期追蹤資料迴歸分析的探討，將依據模型之檢定結果，選取固定效果模型或是隨機效果模型來解釋兩者之間的關係，於是，將 107 國 16 年之邊際減量成本、生產效率值與二氧化碳排放量等資料代入 (5-16) 利用固定效果模型分析，以及 (5-18) 式使用隨機效果模型分析，進而由兩項模型的估計結果中，選出較理想的模型。而相關的估計值與檢定結果即如表 5-1，由表 5-1 可歸納出，無論是檢定固定效果模型好壞的 F 值或檢定隨機效果模型好壞之 LM 值，其檢定結果均呈現顯著性，表示各國間異質性的差異是顯著的；因此，決定使用固定效果亦或是隨機效果模型來分析則取決於 Hausman  $\chi^2$  檢定，進而發現 Hausman  $\chi^2$  檢定顯示此一長期追蹤資料使用固定效果模型來解釋會優於隨機效果模型，也就是國家之個別效果與本研究所選取之二氧化碳排放量、生產效率值與兩者之間的交乘項三個解釋變數的確存在相關性，據此，選取固定效果模型進行後續的相關分析。

由表 5-1 可以發現，固定效果模型中二氧化碳排放量與生產效率值兩個解釋變數均呈現非常顯著的影響邊際減量成本，且排放量與邊際減量成本間呈正向關係，表示二氧化碳排放量愈高的國家，邊際減量成本愈高，此結果符合以社會成本詮釋邊際減量成本時的現象。據此利用所估計出之結果，將 Greenhouse

Development Rights Online Calculator資料庫中各國在未來時間點上BAU之二氧化碳排放量代入(5-16)式固定效果模型，推算出該國在BAU排放水準下之平均邊際減量成本，而各國在未來該時間點上之邊際減量成本函數之 $\alpha_0$ 值，即經由(5-23)式計算。例如，保加利亞在2010年BAU下之二氧化碳排放量為1,627萬噸，代入(5-16)式得到該國在BAU排放水準下之平均邊際減量成本為372美元，經由(5-23)式計算邊際減量成本函數之 $\alpha_0$ 值為0.000046，如圖6-1所示；而瑞典在2010年BAU下之二氧化碳排放量為1,196萬噸，此時估算出之邊際減量成本與 $\alpha_0$ 值分別為6,178美元與0.001033。可發現估算出用以進行交易分析的邊際減量成本函數之 $\alpha_0$ 值，呈現經濟發展程度愈高的國家， $\alpha_0$ 值愈高，此一結果表示經濟發展程度愈好的國家，其邊際減量成本曲線斜率愈大，亦即在同樣的二氧化碳減量下，所付出的邊際減量成本愈高，並且符合第二章對於以社會成本來詮釋之邊際減量成本大小之推論，而其他國家各年度邊際減量成本函數之 $\alpha_0$ 值則詳列於附錄四中。

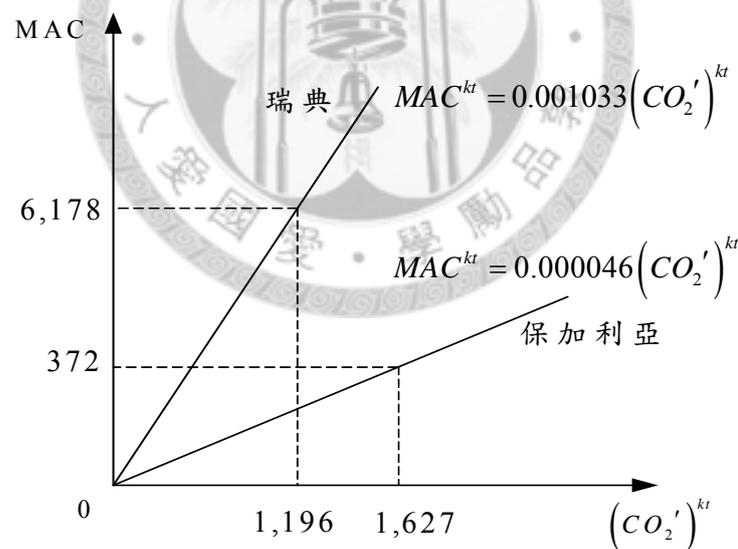


圖6-1 瑞典及保加利亞於2010年之邊際減量成本曲線

### 第三節 不同情境下二氧化碳排放權交易的結果

經由第五章所設計之邊際減量成本函數與排放權交易模型，而不同情境之設計，是配合「The Greenhouse Development Rights Framework」上可計算出未來2010年、2020年與2030年之BAU的排放量與初始排放權的分配，於是分為2010年設

定 EU 與附件 B 國家；2020 年設定 EU、ASEAN、USAN、APEC 與 OECD 五個組織；最後 2030 年設定 107 國一起進行排放權交易三種情境下的交易結果。

此外，由第三章對碳排放權交易市場的概念架構而知，各國初始分配均相等的前提下，當進行交易時，邊際減量成本高的國家，該國在交易市場上會擔任買方的角色，反之則為賣方；而實證結果亦愈符合此一預期，以下將分2010年、2020年與2030年三種情境，呈現排放權交易市場之交易結果，另外於附錄五有呈現更詳細的交易結果資料。

### 一、2010年情境下之排放權交易結果

在2010年，本研究設定EU與附件B國家兩個集團，集團內國家自行進行排放權交易，而本研究考量2010年仍在京都議定書所規範之期間內，所以二氧化碳排放量總量之設定參考京都議定書之規定，設定在2010年二氧化碳排放量必須減量1990年排放量水準之5%，也就是說在2010年的二氧化碳排放總量必須是1990年總量的95%。

此一情境下EU內國家進行交易之交易結果呈現在表6-3，均衡價格為\$2,599.31/噸，所付出之總社會成本為\$999,702百萬美元，且其中買方為西歐經濟發展程度較好的15國，而賣方為東歐10國，顯現經濟發展程度愈好的國家，以社會成本來解釋之邊際減量成本愈高，因此，在交易市場上擔任買方的角色；反之為賣方。此外，由交易量佔初始排放權之比例也可看出，其中法國與瑞典分別為71.3%和83.1%，兩國有相當大的比例是透過交易市場購買排放權來達成初始二氧化碳的減量數量，而非本國自行減量，顯示邊際減量成本愈高的國家，自行減量成本愈大，愈傾向自交易市場購買排放權來達成初始減量。

而京都議定書附件 B 國家進行交易，交易結果如表 6-4 所示，此時均衡價格為\$390.77/噸，所付出之總社會成本為\$451,230 百萬美元，其中買方有高達 32 個國家，賣方只有 5 個國家，探究其原因，可透過附錄五詳細的資料發現，俄羅斯聯邦與烏克蘭兩國在 2010 年 BAU 下的邊際減量成本非常低，所以交易的結果造成兩國成為最大的排放權賣方，而其他國皆向兩國購買排放權以達成初始之二氧化碳減量，而從交易量佔初始排放權之比例來看，買方國家的比例皆相當大，表示大部分國家由於可自交易市場購得便宜的排放權，因而不願自行減量。據此，本研究又另估算如果不包括此兩極端國的交易結果，如表 6-5 所示，而此時之均衡

價格為\$3,181.86/噸，所付出之總社會成本\$3,477,846 百萬美元，同樣的買方多為經濟發展較高的國家，如日本與美國等，而經濟發展較差的國家則為賣方，如波蘭與羅馬尼亞等。

比較兩種交易結果可發現，有包含俄羅斯聯邦與烏克蘭兩國的均衡價格與總減量成本皆遠低於不包含兩國的結果，顯示在同樣的總減量水準下，包含俄羅斯聯邦與烏克蘭一起進行交易之總減量成本較低，表示包含兩國一起交易是較適當的，亦反應第三章對排放權交易制度的理論架構，認為參與交易國的邊際減量成本差異愈大，交易的行為愈易發生。

表 6-3 2010 年 EU 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
法國	7,047	71.3%	波蘭	14,991	465.4%
德國	6,601	39.7%	羅馬尼亞	6,499	822.4%
英國	5,676	50.1%	保加利亞	5,320	1,458.7%
義大利	5,603	59.9%	捷克	5,148	319.6%
西班牙	2,413	38.2%	斯洛伐克	1,122	230.8%
荷蘭	1,957	55.5%	愛沙尼亞	954	522.9%
瑞典	1,237	83.1%	匈牙利	820	89.9%
比利時	1,036	46.1%	立陶宛	75	35.4%
奧地利	978	60.7%	拉脫維亞	25	20.3%
丹麥	717	62.1%	斯洛維尼亞	16	5.9%
希臘	510	26.6%			
芬蘭	444	41.7%			
愛爾蘭	414	45.4%			
葡萄牙	222	20.8%			
盧森堡	115	47.3%			
總量	34,969		總量	34,969	
均衡價格			\$2,599.31/噸		
總成本			\$999,702 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

表 6-4 2010 年附件 B 國家二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
美國	89,489	89.1%	俄羅斯	171,972	1,473.6%
日本	22,423	95.0%	烏克蘭	19,786	2,959.3%
德國	15,117	90.9%	保加利亞	490	134.3%
英國	10,485	92.5%	羅馬尼亞	306	38.7%
法國	9,452	95.7%	摩洛哥	70	76.9%
義大利	8,796	94.0%			
加拿大	7,443	83.6%			
西班牙	5,734	90.7%			
澳大利亞	3,892	74.9%			
荷蘭	3,290	93.3%			
比利時	2,067	91.9%			
希臘	1,703	89.0%			
奧地利	1,516	94.1%			
瑞典	1,451	97.5%			
瑞士	1,308	97.8%			
挪威	1,184	97.4%			
丹麥	1,089	94.3%			
芬蘭	970	91.2%			
葡萄牙	937	88.1%			
愛爾蘭	837	91.8%			
匈牙利	651	71.5%			
捷克	595	36.9%			
紐西蘭	504	87.3%			
波蘭	483	15.0%			
斯洛伐克	244	50.3%			
斯洛維尼亞	230	84.1%			
盧森堡	224	92.1%			
立陶宛	169	79.6%			
克羅埃西亞	169	69.7%			
拉脫維亞	100	81.9%			
冰島	58	95.8%			
愛沙尼亞	12	6.3%			
總量	192,623		總量	192,623	
			均衡價格	\$390.77/噸	
			總成本	\$451,230 百萬美元	

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

表 6-5 2020 年不包括俄羅斯聯邦與烏克蘭之附件 B 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
日本	13,919	58.94%	波蘭	19,073	592.06%
美國	11,245	11.20%	羅馬尼亞	8,132	1,029.15%
法國	6,412	64.92%	捷克	6,663	413.64%
義大利	4,761	50.86%	保加利亞	6,594	1,807.99%
英國	4,408	38.88%	澳大利亞	5,425	104.39%
德國	4,355	26.20%	加拿大	2,996	33.65%
荷蘭	1,605	45.53%	斯洛伐克	1,483	304.94%
西班牙	1,537	24.32%	摩洛哥	1,222	1,340.59%
瑞典	1,181	79.31%	愛沙尼亞	1,208	662.55%
瑞士	1,100	82.29%	匈牙利	1,208	132.45%
挪威	956	78.65%	克羅埃西亞	357	146.81%
奧地利	836	51.88%	立陶宛	140	65.75%
比利時	764	33.98%	斯洛維尼亞	81	29.60%
丹麥	619	53.62%	拉脫維亞	57	47.26%
芬蘭	305	28.64%	紐西蘭	20	3.53%
愛爾蘭	302	33.14%			
希臘	195	10.17%			
盧森堡	86	35.47%			
冰島	40	65.41%			
葡萄牙	33	3.08%			
總量	54,659		總量	54,659	
			均衡價格	\$3,181.86/噸	
			總成本	\$3,477,846 百萬美元	

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

## 二、2020年情境下之排放權交易結果

至於2020年所設定的情境共有五個交易集團，包含了EU、ASEAN、USAN、APEC與OECD五個國際組織，其組織內國家進行碳權交易，而二氧化碳排放量總量的設定，則參考聯合國氣候變化綱要公約第14屆締約國大會（The 14th Conference of Parties, COP14）所討論的內容，COP14曾討論在2013至2020年制訂為和京都議定書一樣具有約束力之第二次減量承諾期，且根據IPCC第四版評估報告，建議於2020年二氧化碳排放量應低於1990年排放水準的25%至40%，做為第二階段減量承諾協商的基礎。因此，在2020年情境下，二氧化碳排放總量設定為必須減量1990年排放量水準之25%，也就是說在2020年的二氧化碳排放總量必須

是1990年總量的75%。

EU 組織的交易結果於表 6-6，均衡價格為\$4,518.38/噸，所付出之總社會成本為\$3,157,650 百萬美元，同樣呈現買方多為經濟發展較高的國家，而經濟發展較差的國家則為賣方，且瑞典之邊際減量成本最高，相對交易量佔初始排放權之比例也較高，表示該國初始分配的二氧化碳減量有 82.6%是自交易市場購買排放權來達成，自行減量的部分僅 17.4%。若與 2010 年的交易結果相比較，可發現均衡價格從\$2,599.31/噸上升至\$4,518.38/噸，而各國在市場上扮演的角色，只有斯洛維尼亞一國從原本的賣方變為買方，可以知道，即使是同樣的一群國家進行碳排放權交易，當在不同時期進行交易，均衡價格以及國家在市場上所扮演角色也都會有所不同。

表 6-6 2020 年 EU 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
法國	12,392	71.3%	波蘭	25,210	359.6%
德國	11,666	39.9%	羅馬尼亞	11,480	578.3%
義大利	10,145	60.6%	保加利亞	11,296	1,011.6%
英國	9,977	50.1%	捷克	9,222	280.5%
西班牙	4,669	40.5%	斯洛伐克	1,987	188.4%
荷蘭	3,443	55.5%	愛沙尼亞	1,781	478.5%
瑞典	2,100	82.6%	匈牙利	1,347	70.1%
比利時	1,834	46.2%	立陶宛	51	10.3%
奧地利	1,739	60.9%	拉脫維亞	30	12.0%
丹麥	1,215	61.2%			
希臘	1,001	28.8%			
芬蘭	769	41.3%			
愛爾蘭	736	45.6%			
葡萄牙	502	25.3%			
盧森堡	209	48.0%			
斯洛維尼亞	7	1.3%			
總量	62,403		總量	62,403	
均衡價格			\$4,518.38/噸		
總成本			\$3,157,650 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

其中 APEC 組織的交易結果於表 6-7，均衡價格為\$2,226.58/噸，所付出之總社會成本為\$4,687,391 百萬美元，一樣呈現買方多為該組織中經濟發展較高的國家，而經濟發展較差的國家則為賣方，其中在買方國家中，日本交易量佔初始排放權之比例最高，但其並非為邊際減量成本最高的國家，反而是中國之邊際減量成本最高，但其交易量佔初始排放權之比例只有 53.8%，從附錄五 APEC 在 2020 年交易結果可發現，由於中國在 2020 年初始分配之二氧化碳減量相當大，因此中國交易量佔初始排放權之比例較日本低。此外，台灣在此一交易情境下為買方，而初始分配的二氧化碳減量中，有 29.6%是自交易市場購買排放權，70.4%是自行減量。

表 6-7 2020 年 APEC 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
美國	120,049	66.5%	俄羅斯聯邦	177,713	664.6%
中國	34,601	53.8%	印尼	11,775	421.8%
日本	33,776	82.4%	泰國	6,787	140.3%
加拿大	6,944	41.9%	越南	4,285	1,726.6%
台灣	2,862	29.6%	菲律賓	2,082	209.7%
南韓	2,264	18.8%	馬來西亞	1,927	44.4%
新加坡	1,979	44.3%	汶萊	72	23.2%
澳大利亞	1,053	11.0%			
紐西蘭	557	52.8%			
秘魯	301	34.7%			
智利	165	8.9%			
墨西哥	89	0.9%			
總量	204,641		總量	204,641	
			均衡價格	\$2,226.58/噸	
			總成本	\$4,687,391 百萬美元	

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

ASEAN 組織的交易結果於表 6-8，均衡價格為\$1,002.62/噸，所付出之總社會成本為\$90,189 百萬美元，此一交易情境以新加坡之邊際減量成本最高，最低為越南，反應在交易量佔初始排放權之比例上，新加坡有 76.7%的初始二氧化碳減量是購買排放權來達成，而越南則為最大的排放權賣家，交易量佔初始排放權之比例高達 665.3%。同樣經濟發展高的國家為買方，反之為賣方。

表 6-8 2020 年 ASEAN 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
新加坡	3,424	76.7%	印尼	3,312	118.6%
馬來西亞	1,716	39.5%	越南	1,651	665.3%
汶萊	150	48.4%	菲律賓	295	29.8%
			泰國	32	0.7%
總量	5,290		總量	5,290	
均衡價格			\$1,002.62/噸		
總成本			\$90,189 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

USAN 組織的交易結果於表 6-9，均衡價格為\$2,854.01/噸，所付出之總社會成本為\$315,590 百萬美元，買方國家中以烏拉圭的交易量佔初始排放權之比例最高，而自附錄五中 USAN 在 2020 年交易結果顯示，烏拉圭的邊際減量成本在此一組織中是最高的。同樣在此一交易情境下結果呈現買方多為經濟發展較高的國家，而經濟發展較差的國家則為賣方。

表 6-9 2020 年 USAN 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
巴西	5,316	49.5%	委內瑞拉	4,465	167.4%
阿根廷	597	16.3%	厄瓜多爾	778	125.4%
祕魯	192	22.1%	哥倫比亞	534	35.9%
烏拉圭	134	71.8%	玻利維亞	280	113.0%
			智利	162	8.7%
			巴拉圭	20	32.2%
總量	6,239		總量	6,239	
均衡價格			\$2,854.01/噸		
總成本			\$315,590 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

OECD 組織的交易結果於表 6-10，均衡價格為\$5,963.16/噸，所付出之總社會成本為\$12,224,569 百萬美元；此外，與 APEC 相比較可以發現，不同國家當身處在不同集團中時，所扮演的角色會不同，例如，南韓在 APEC 組織中為買方的角

色，但是當在 OECD 裡則為賣方，主要的原因為南韓在不同組織中所相對的邊際減量成本大小不同，在 APEC 裡邊際減量成本相對於其他國家而言是較高的，所以為買方；但是到了 OECD，相對於組織中其他國家而言，邊際減量成本是較低的，故為賣方。此一現象可反映第三章排放權交易制度之概念，一國在排放權市場上買賣方的角色會隨著排放交易參與國家的改變而跟著調整，且其改變的關鍵為該國在所有交易參與國中相對邊際減量成本的大小。

表 6-10 2020 年 OECD 二氧化碳排放權交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
美國	29,727	16.5%	波蘭	35,512	506.6%
日本	22,988	56.1%	墨西哥	14,032	146.9%
法國	10,800	62.2%	捷克	13,222	402.1%
義大利	8,033	48.0%	南韓	12,314	102.3%
英國	6,799	34.1%	澳大利亞	11,631	121.7%
德國	6,053	20.7%	加拿大	7,408	44.7%
荷蘭	2,560	41.3%	斯洛伐克	2,959	280.6%
西班牙	2,473	21.4%	匈牙利	2,393	124.4%
瑞典	1,958	77.0%	紐西蘭	185	17.5%
瑞士	1,846	80.4%	馬爾他	32	25.8%
挪威	1,616	76.6%			
奧地利	1,382	48.4%			
比利時	1,152	29.0%			
丹麥	968	48.8%			
愛爾蘭	455	28.2%			
芬蘭	420	22.6%			
希臘	211	6.1%			
盧森堡	136	31.4%			
冰島	84	67.8%			
葡萄牙	28	1.4%			
總量	99,688		總量	99,688	
			均衡價格	\$5,963.16/噸	
			總成本	\$12,224,569 百萬美元	

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

此外，將這五個組織與集團的均衡交易價格相比較可以發現，如表 6-11 所示，均衡交易價格最高的集團為 OECD，其次為 EU，而最低的則為 ASEAN，可發現

與各組織之平均邊際減量成本的高低一致。此外，與第四章對各組織與結盟集團資料之檢視，平均 GDP 最高的組織為 OECD，最低的為 ASEAN，相對照發現平均 GDP 愈高的集團，進行碳權交易之均衡交易價格會愈高，亦即表示經濟發展程度愈高的國家聚在一起所形成之組織，由於各國的邊際減量成本均較高，所以交易的結果均衡價格亦較高。

表 6-11 2020 年均衡價格與平均 BAU 二氧化碳排放量及邊際減量成本之比較

組織名	均衡價格	平均 BAU 二氧化碳排放量 <sup>a</sup>	平均邊際減量成本
EU	\$4,518.38/噸	42,403	\$2,368/噸
ASEAN	\$1,002.62/噸	75,500	\$1,555/噸
USAN	\$2,854.01/噸	34,508	\$2,461/噸
APEC	\$2,226.58/噸	354,600	\$2,617/噸
OECD	\$5,963.16/噸	121,043	\$3,125/噸

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放量單位為千公噸。

### 三、2030 年情境下之排放權交易結果

由前面循序漸進的發展排放權交易制度，且根據第三章對二氧化碳排放權交易制度之概念架構，實行此一制度要盡量擴大交易範圍，使參與交易的國家數增加，以有效降低交易成本。因此，到了 2030 年設定全部 107 個樣本國進行二氧化碳排放權交易，而此時二氧化碳排放之總量，為參考國際能源總署（International Energy Agency, IEA）在 2008 年所發布之「能源技術展望 2008」（Energy Technology Perspectives 2008）的報告，IEA 提出為了維持二氧化碳在適當的濃度範圍內以避免全球氣候變遷所帶來的損害，在 2050 年需減量二氧化碳至 2000 年水準之 50%，因而在 2030 年之二氧化碳排放總量可設定為兩個目標分別進行討論，由於還未到 2050 年，所以其中一個目標乃設定 2030 年須減量至 2000 年的 30%，也就是在 2030 年的二氧化碳排放總量必須是 2000 年總量的 70%，另一個則設定 2030 年即達到減量至 2000 年的 50%。

當 107 國之減量達到 2000 年 70% 目標之交易結果呈現如表 6-12，均衡價格為 \$1,657.36/噸，所付出之總社會成本為 \$5,790,234 百萬美元；而 107 國達到減量至 2000 年 50% 目標之交易結果呈現如表 6-13，均衡價格為 \$2,042.85/噸，所付出之總社會成本為 \$8,797,043 百萬美元。兩項結果同樣呈現買方多為經濟發展較高的國家，而

經濟發展較差的國家則為賣方，此外，可發現當二氧化碳總量限制的愈嚴格，國際上均衡的價格就會愈高且所付出總之成本亦愈大。

#### 四、各情境下排放權交易制度與直接減量之總成本的比較

根據第三章對交易制度概念的探討，Montgomery（1972）曾證明出交易制度具有成本有效性的特色，亦即利用交易制度的方式來達到控制二氧化碳之排放，所付出之總成本相較於各國單獨直接減量加總後的總成本是較低的。可從表6-14看出，不論在何種情境下之交易結果，均顯示透過交易制度來進行減量所付出之總成本會比單獨直接減量來得低。其中成效最高的為附件B國家的11.35倍，其次為2030年情境下之107國交易的4.17倍。

然而，分析各情境下實施交易制度的成效之所以會有差異，主要的因素為該國際組織或結盟團體內邊際減量成本之差距。若該組織內各國的邊際減量成本相差愈大，則此一組織實行交易制度所付出的總成本將會比直接減量時來得低；反之，若各國邊際減量成本相差不大，則實行交易制度的成效會較低。例如，附件B國家的交易制度成效為11.35倍，若不包含邊際減量成本很低的俄羅斯聯邦與烏克蘭進行交易，此時實施交易制度的成效將下降為1.47倍。又OECD的會員國均為高所得群國家，各國間邊際減量成本相去不大，因此，交易制度的成效為所有情境中成效最低的1.38；而當全世界107國一起加入交易制度，不再只有高所得國家，而是涵蓋不同經濟發展程度的國家，此時，透過交易制度的成效將為4.17倍，顯示實行交易制度時，各國的邊際減量成本相差愈大，交易制度的成效亦愈顯著。

表6-12 2030年107樣本國達到減量至2000年之70%之交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
美國	145,728	78.9%	烏克蘭	275,649	7,921.2%
中國	91,000	82.4%	俄羅斯聯邦	70,669	212.4%
日本	34,991	88.1%	哈薩克	16,792	609.5%
德國	22,191	77.1%	烏茲別克斯坦	15,098	4,165.1%
英國	15,595	80.6%	南非	6,877	78.4%
法國	14,779	88.6%	印尼	5,083	91.1%
義大利	14,019	84.8%	白俄羅斯	4,493	413.1%
加拿大	10,635	60.1%	巴基斯坦	4,283	738.4%
西班牙	8,990	77.5%	波蘭	3,788	46.7%
巴西	8,928	70.8%	保加利亞	3,511	210.6%
台灣	7,041	56.8%	越南	2,989	458.1%
南韓	6,365	47.7%	亞塞拜然	2,893	997.7%
荷蘭	4,964	82.5%	羅馬尼亞	2,608	105.8%
墨西哥	4,074	37.0%	埃及	2,034	112.2%
澳大利亞	3,988	39.6%	阿爾及利亞	1,966	100.4%
新加坡	3,616	63.9%	千里達及托巴 哥	1,632	187.6%
比利時	3,099	79.2%	委內瑞拉	1,377	40.4%
希臘	2,536	72.9%	泰國	1,339	18.1%
奧地利	2,401	84.9%	捷克	1,093	30.2%
阿根廷	2,293	51.9%	約旦	874	602.6%
瑞典	2,223	92.9%	菲律賓	837	50.2%
瑞士	2,045	94.0%	孟加拉共和國	747	1,030.6%
挪威	1,815	92.7%	巴林	548	68.7%
阿拉伯聯合大公國	1,799	35.4%	愛沙尼亞	385	88.6%
丹麥	1,663	84.9%	辛巴威	385	106.1%
以色列	1,614	61.8%	摩爾達維亞	383	527.9%
葡萄牙	1,463	72.1%	黎巴嫩	369	72.8%
芬蘭	1,395	77.0%	印度	337	2.0%
愛爾蘭	1,259	79.0%	迦納	297	-
沙烏地阿拉伯	1,231	10.2%	厄瓜多爾	262	36.1%
馬來西亞	919	15.6%	牙買加	207	95.2%

表 6-12 (續)

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初 始排放權之 比例
匈牙利	857	40.7%	塞內加爾	161	-
智利	756	34.7%	多明尼加共和國	151	41.7%
紐西蘭	723	66.5%	象牙海岸	129	-
秘魯	607	55.8%	蘇丹	114	157.8%
斯洛維尼亞	370	63.8%	亞美尼亞	109	150.7%
克羅埃西亞	369	51.0%	突尼西亞	91	18.0%
巴拿馬	312	86.0%	肯亞	79	108.7%
立陶宛	299	58.8%	尼加拉瓜	70	96.9%
盧森堡	276	76.1%	多哥	69	-
斯里蘭卡	270	62.1%	剛果民主共和國	66	-
阿曼	198	21.0%	貝南	49	-
拉脫維亞	184	63.3%	尼泊爾	48	-
烏拉圭	180	82.8%	宏都拉斯	48	66.3%
哥倫比亞	170	9.4%	瓜地馬拉	45	31.1%
波黎那	162	74.5%	尚比亞	41	-
哥斯大黎加	157	72.3%	安哥拉	29	13.2%
加彭	157	72.2%	海地	22	-
馬爾他	100	68.9%	莫三比克	15	-
摩洛哥	84	19.3%	玻利維亞	13	3.7%
薩爾瓦多	65	45.0%			
冰島	61	84.1%			
剛果	44	60.0%			
喀麥隆	42	58.4%			
汶萊	42	11.6%			
巴拉圭	14	19.3%			
斯洛伐克	1	0.1%			
總量	431,155		總量	431,155	
		均衡價格	\$1,657.36/噸		
		總成本	\$5,790,234 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

表 6-13 2030 年 107 樣本國達到減量至 2000 年之 50% 之交易結果

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
美國	179,623	78.9%	烏克蘭	339,764	7,921.2%
中國	112,166	82.4%	俄羅斯聯邦	87,106	212.4%
日本	43,130	88.1%	哈薩克	20,698	609.6%
德國	27,352	77.1%	烏茲別克斯坦	18,609	4,165.1%
英國	19,222	80.6%	南非	8,476	78.4%
法國	18,217	88.6%	印尼	6,266	91.1%
義大利	17,280	84.8%	白俄羅斯	5,538	413.1%
加拿大	13,109	60.1%	巴基斯坦	5,279	738.4%
西班牙	11,081	77.5%	波蘭	4,669	46.7%
巴西	11,004	70.8%	保加利亞	4,327	210.6%
台灣	8,678	56.8%	越南	3,684	458.1%
南韓	7,846	47.7%	亞塞拜然	3,566	997.7%
荷蘭	6,118	82.5%	羅馬尼亞	3,215	105.8%
墨西哥	5,021	37.0%	埃及	2,507	112.2%
澳大利亞	4,916	39.6%	阿爾及利亞	2,423	100.4%
新加坡	4,457	63.9%	千里達及托巴哥	2,012	187.6%
比利時	3,820	79.2%	委內瑞拉	1,697	40.4%
希臘	3,126	72.9%	泰國	1,650	18.1%
奧地利	2,960	84.9%	捷克共和國	1,348	30.2%
阿根廷	2,826	51.9%	約旦	1,077	602.6%
瑞典	2,740	92.9%	菲律賓	1,032	50.2%
瑞士	2,520	94.0%	孟加拉共和國	921	1,030.5%
挪威	2,237	92.7%	巴林	675	68.7%
阿拉伯聯合大公國	2,217	35.4%	愛沙尼亞	475	88.6%
丹麥	2,049	84.9%	辛巴威	474	106.1%
以色列	1,990	61.8%	摩爾達維亞	472	527.9%
葡萄牙	1,803	72.1%	黎巴嫩	455	72.8%
芬蘭	1,719	77.0%	印度	415	2.0%
愛爾蘭	1,552	79.0%	迦納	366	-
沙烏地阿拉伯	1,517	10.2%	厄瓜多爾	322	36.1%
馬來西亞	1,132	15.6%	牙買加	255	95.2%

表 6-13 (續)

買方			賣方		
國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例	國家	交易量	交易量佔初始 排放權之比例
匈牙利	1,056	40.7%	塞內加爾	199	-
智利	931	34.7%	多明尼加共和國	186	41.7%
紐西蘭	891	66.5%	象牙海岸	159	-
秘魯	748	55.8%	蘇丹	141	157.8%
斯洛維尼亞	456	63.8%	亞美尼亞	135	150.7%
克羅埃西亞	455	51.0%	突尼西亞	112	18.0%
巴拿馬	384	86.0%	肯亞	97	108.7%
立陶宛	368	58.8%	尼加拉瓜	87	96.9%
盧森堡	340	76.1%	多哥	85	-
斯里蘭卡	333	62.1%	剛果民主共和國	81	-
阿曼	244	21.0%	貝南	61	-
拉脫維亞	226	63.3%	尼泊爾	60	-
烏拉圭	222	82.8%	宏都拉斯	59	66.3%
哥倫比亞	209	9.4%	瓜地馬拉	56	31.1%
波黎那	200	74.5%	尚比亞	51	-
哥斯大黎加	194	72.3%	安哥拉	35	13.2%
加彭	193	72.2%	海地	27	-
馬爾他	123	68.9%	莫三比克	19	-
摩洛哥	103	19.3%	玻利維亞	17	3.7%
薩爾瓦多	80	45.0%			
冰島	75	84.1%			
剛果	54	60.0%			
喀麥隆	52	58.4%			
汶萊	52	11.6%			
巴拉圭	17	19.3%			
斯洛伐克	2	0.1%			
總量	531,439		總量	531,439	
		均衡價格	\$2,042.85/噸		
		總成本	\$8,797,043 百萬美元		

資料來源：本研究估算。

註 a：二氧化碳排放交易量的單位為萬噸。

表6-14 各情境下排放權交易制度與直接減量之總成本比較

情境	國際組織與結盟集團	排放交易制度	直接減量	直接減量/ 交易制度
2010	EU	\$999,702	\$2,033,725	2.03
	附件B	\$451,230	\$5,120,184	11.35
	附件B (不包括兩國 <sup>a</sup> )	\$3,477,846	\$5,118,693	1.47
2020	EU	\$3,157,650	\$6,312,794	2.00
	ASEAN	\$90,189	\$469,460	1.88
	USAN	\$315,590	\$449,635	1.42
	APEC	\$4,687,391	\$12,098,907	2.58
	OECD	\$12,224,569	\$16,924,419	1.38
2030	107國70%	\$5,790,234	\$24,164,109	4.17
	107國50%	\$8,797,043	\$36,712,239	4.17

資料來源：本研究估算。

註 a：兩國為俄羅斯聯邦與烏克蘭。

## 第七章 結論

### 第一節 主要結果

近年來因全球暖化、氣候變遷帶來許多災害，直接與間接影響到人類的生存環境，於是世界各國紛紛注意到進行二氧化碳減量的重要性，更於 1997 年在日本京都所舉行的第三次締約國大會決議通過具有約束力之京都議定書，來進行控制溫室氣體的排放，而其中的三種減量機制中的排放權交易更是各政府或學者所十分關注的課題。然在眾多討論排放權交易的文獻中，學者提出許多不同的模型來探究交易的結果，多半都是利用多國一般均衡模型，藉由各式各樣不同的模型假設與函數設定，推導出交易之均衡結果，然本研究以影子價格模型為基礎，先估算出各國二氧化碳邊際減量成本，再根據此成本來推算邊際減量成本函數，進而建構碳權的交易模型以得出不同組織與結盟下之交易價格與交易下的二氧化碳排放權之買賣國之決定，此種表示符合一般國家在面臨交易市場進行二氧化碳減量時的步驟順序，首先會衡量本國的邊際減量成本，之後根據各國邊際減量成本進行交易，來決定均衡交易價格和各國在市場上擔任的角色。

本研究以影子價格模型為基礎，配合方向產處距離函數的概念，從要素面與生產面兩方面來分析以社會成本做詮釋之二氧化碳邊際減量成本，之後將排放量與邊際減量成本進行實證模型分析，結果發現若是以社會成本為代表的邊際減量成本，則國家排放量會與邊際減量成本呈正比，也就是說當排放量愈高的國家，面臨減量所付出的成本會愈高，此外，透過原始資料檢視發現，一國的 GDP 與二氧化碳排放量呈正向關係，也就是說，以 GDP 來表示經濟發展程度時，經濟發展程度愈高的國家，邊際減量成本會愈大；另外，實證模型結果亦顯示生產效率與邊際減量成本呈反比，亦即實證結果得出之生產效率值愈小，表示該國生產效率愈好，而邊際減量成本就會愈小；這些實證結果都與一般理論所推論的預期一致。

而在排放權交易制度的模型設計中，初始排放權之分配考量「責任」、「能力」與「需求」三項原則，以及由上而下之分配方式，選用 2008 年「The Greenhouse Development Rights Framework」中之 RCI，做為初始分配的依據。並且在總減量成本最小為目標之考量下，討論 2010 年、2020 年與 2030 年不同情境下之交易結果，而實證結果發現，以社會成本做詮釋之邊際減量成本進行交易，則各種交易

情境皆顯示出經濟發展程度愈高的國家，會在該情境下擔任買方的角色，主要是因為經濟發展程度愈高的國家，邊際減量成本愈大，所以在進行交易時，會減較少的量來降低減量成本，並且透過購買較低價格的二氧化碳排放權來補足該國所分配到必須減少的二氧化碳排放量；反之，若該國經濟程度較低，邊際減量成本相對較小，此時該國會願意減少超出所必須減少的量以出售二氧化碳排放權來賺取利潤。

此外，從不同情境的比較可以發現，一國會因身在不同的集團或組織中，而扮演不同的角色，其主要是依據該國在相關組織中之邊際減量成本的相對大小來決定，例如，南韓在APEC組織中為買方的角色，但是當在OECD裡則為賣方。而且經濟發展程度愈高的國家聚在一起所形成之組織如OECD，由於各國的邊際減量成本均較高，所以交易的結果均衡價格亦較高。最後，在2030年當全世界107國一起參與交易，此一結果顯示二氧化碳總量限制的愈嚴格，該年度必須減少的二氧化碳排放量愈多，則交易下之二氧化碳排放權的價格會愈高。

最後，比較各情境下交易制度與直接減量所付出之總成本的大小，用以驗證交易制度具備成本有效性的特性，結果發現不論是何種情境，實行交易制度所付出之總成本均較直接減量來得低。且若組織內各國的邊際減量成本相差愈大，則交易制度中成本有效性的優點將更明顯，例如京都議定書中附件B國家實行交易制度的成效為11.35倍，但不包含邊際減量成本很低的俄羅斯聯邦與烏克蘭兩國時，交易制度的成效將下降為1.47倍。亦即若能將參與交易的國家數涵蓋各種不同經濟發展程度的國家時，此時實行交易制度所付出之總成本，將會比只有同一經濟發展程度國家實行交易制度的總成本來得低。

## 第二節 未來研究方向與建議

在進行交易分析時，本研究在初始二氧化碳排放權的分配上，是採用 RCI 指標推算而來，然在國際間初始分配的討論仍有許多意見，因此，未來在設定初始分配權時，建議可改採其他的分配方式或進行相關之分析。而在建構二氧化碳排放權交易的實證模型中，是以總減量成本最小為基礎，其中並未考量到二氧化碳具有儲存性，因此在之後的分析上，可以使用排放權的跨期機制之研究，以使二氧化碳排放權交易機制有更完善的考量。

## 參考文獻

- 中央政府總預決算查詢及統計資料庫，2008。『總體經濟資料庫』。2008年10月20日取自 <http://nplbudget.ly.gov.tw/>。
- 中華民國統計資訊網，2008。『消費者物價指數及其年增率』。2008年10月20日取自 <http://www.stat.gov.tw/public/data/dgbas03/bs3/inquire/cpispl.xls>。
- 世界銀行，2008。『Institutional subscribers to WDI Online』。2008年10月20日取自 <http://ddp-ext.worldbank.org/ext/DDPQQ/member.do?method=getMembers&userid=1&queryId=6>。
- 世界銀行，2009。『World Bank list of economies (April 2009)』。2009年5月1日取自 <http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/CLASS.XLS>。
- 經濟部能源局，2007。『台灣能源統計手冊』。2008年10月20日取自 <http://www.moeaboe.gov.tw/opengovinfo/Plan/all/files/EnergyStatisticalDataBook.pdf>。
- 經濟部能源局，2009。『我國燃料燃燒之二氧化碳排放統計與分析』。2009年5月1日取自 <http://www.moeaboe.gov.tw/promote/greenhouse/files/我國CO2排放趨勢.pdf>。
- 魏國棟，2003。「氣候變遷與因應經濟政策工具：文獻回顧」，『經濟研究』。39卷，1期，27-69。
- Agarwal, A. and S. Narian, 2002. "The atmospheric rights of all people on earth," 2009年6月30日取自 [http://www.vwo-campus.net/downloads/pws5\\_atmospheric\\_rights.pdf](http://www.vwo-campus.net/downloads/pws5_atmospheric_rights.pdf)。
- Aigner, D. J. and S. F. Chu, 1968. "On estimating the industry production function," *American Economic Review*. 58(4): 826-839.
- Atkinson, S. E. and T. H. Tietenberg, 1982. "The empirical properties of two classes of designs for transferable discharge permit markets," *Journal of Environmental Economics and Management*. 9(2): 101-121.
- Barker, T., J. Köhler, and M. Villena, 2002. "Cost of greenhouse gas abatement: Meta-analysis of post-SRES mitigation scenario," *Environmental Economics and Policy Studies*. 5(2): 135-166.

- Berk, M. M. and M. G. J. den Elzen, 2001. "Options for differentiation of future commitments in climate policy: How to realize timely participation to meet stringent climate goals?" *Climate Policy*. 1(4): 465-480.
- Bernard, A. L. and M. Vielle, 2003. "Measuring the welfare cost of climate change policies: A comparative assessment based on the computable general equilibrium model GEMII-E3," *Environmental Modeling and Assessment*. 8(3): 199-217.
- Bernstein, L. and Pan J., ed., 2000. *Sectoral economic costs and benefits of GHG mitigation*. Germany: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Bruce, J. P., H. Lee, and E. F. Haites, ed., 1996. *Climate change 1995: Economic and social dimensions of climate change: Contribution of working group III to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. UK: Cambridge University Press.
- Burniaux, J. M., R. A. McDougall, and T. D. Truong, 2002. "An energy data base for GTAP," In *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 5 Data Base*. Edited by B.V. Dimaranan and R. A. McDougall. West Lafayette, Indiana: Purdue University.
- Chambers, R. G., 1998. "Input and output indicators," In *Index numbers: Essays in honour of Sten Malmquist*. Edited by R. Färe, S. Grosskopf, and R. R. Russell, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Chambers, R. G., Y. Chung, and R. Färe, 1996. "Benefit and distance functions," *Journal of Economic Theory*. 70(2): 407-419.
- Chung, Y., R. Färe, and S. Grosskopf, 1997. "Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach," *Journal of Environmental Management*. 51(3): 229-240.
- Cline, W. R., 1992. *The economics of global warming*. Washington: Institute for International Economics.
- Coase, R. H., 1960. "The problem of social cost," *Journal of Law and Economics*. 3: 1-44.
- Coelli, T. and S. Perelman, 1999. "A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways," *European Journal of Operational Research*. 117(2): 326-339.
- Coffins, J. S. and J. R. Swinton, 1996. "The price of pollution; A dual approach to valuing  $SO_2$  allowances," *Journal of Environmental Economics and Management*. 30(1): 58-72.

- Cramton, P. and S. Kerr, 2002. "Tradeable carbon permit auctions how and why to auction not grandfather," *Energy Policy*. 30(4): 333-345.
- Criqui, P., S. Mima, and L. Viguiier, 1999. "Marginal abatement cost of  $CO_2$  emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings: an assessment using the POLES model," *Energy Policy*. 27(10): 585-601.
- 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(2): 199-221.
- EcoEquity and Stockholm Environment Institute, 2009. Greenhouse Development Rights Online Calculator. 2009年5月1日取自 <http://www.gdrights.org/interactive/basic.Rpad>。
- Edmonds, J. and R. Reilly, 1983. "A long-term global energy-economic model of carbon dioxide release from fossil fuel use," *Energy Economics*. 5(2): 74-88.
- Ellerman, A. D. and A. Decaux, 1998. "Analysis of post-Kyoto  $CO_2$  emissions trading using marginal abatement curves," 2009年6月30日取自 [http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC\\_Rpt40.pdf](http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt40.pdf)。
- Färe, R., S. Grosslopf, C. A. K. Lovell, and S. Yaisawarng, 1993. "Derivation of shadow prices for undesirable output: A distance function approach," *The Review of Economics and Statistics*. 75(2): 374-380.
- Färe, R., S. Grosslopf, and C. A. Pasurka Jr., 2007. "Environmental production functions and environmental directional distance functions," *Energy*. 32(7): 1055-1066.
- Färe, R., S. Grosslopf, and W. L. Weber, 2002. "Shadow prices and pollution costs in U.S agriculture," Paper presented at the Second World Congress of Environmental and Resource Economists. Monterey, California, U.S., June 24-27.
- Fletcher, R. S., 2005. "Global climate change: The Kyoto Protocol," CRS Report for Congress. RL30692, Congressional Research Service. 2009年6月30日取自 <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: Center for Transatlantic Relations.

- Ha, N. V., S. Kant, and V. Maclaren, 2008. "Shadow prices of environmental outputs and production efficiency of household-level paper recycling units in Vietnam," *Ecological Economics*. 65(1): 98-110.
- Haites, E. and F. Yamin, 2000. "The clean development mechanism: Proposals for its operation and governance," *Global Environmental Change*. 10(1): 27-45.
- Heinrich Böll, Christian Aid, EcoEquity, and Stockholm Environment, 2008. *The greenhouse development rights framework*. Berlin: Heinrich Böll, Christian Aid, EcoEquity, and Stockholm Environment.
- Helm, C., 2003. "International emissions trading with endogenous allowance choices," *Journal of Public Economics*. 87(12): 2737-2747.
- 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," 2009年6月30日取自 <http://www.chem.uu.nl/nws/www/publica/Publicaties2003/e2003-155.pdf> °
- International Energy Agency, 2008. *Energy technology perspectives 2008*. Paris: International Energy Agency.
- Jacobsen, H. K., 1998. "Integrating the bottom-up and top-down approach to energy-economy modelling: The case of Denmark," *Energy Economics*. 20(4): 443-461.
- Keeling, C.D. and T.P. Whorf, 2004. "Atmospheric  $CO_2$  concentrations (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii" 2009年6月30日取自 <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/maunaloa-co2/maunaloa.co2> °
- Klepper, G. and S. Peterson, 2004. "The EU emissions trading scheme allowance price, trade flows and competitiveness effects," *European Environment*. 14(4): 201-218.
- Klepper, G. and S. Peterson, 2006. "Marginal abatement cost curves in general equilibrium: The influence of world energy prices," *Resource and Energy Economics*. 28(1): 1-23.
- 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(3): 221-242.
- Kuik, O., L. Brander, and R. S. J. Tol, 2009. "Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis," *Energy Policy*. 37(4): 1395-1403.
- Lansink, A. O., 2003. "Technical efficiency and  $CO_2$  abatement policies in the Dutch

- glasshouse industry,” *Agricultural Economics*. 28(2): 99-108.
- Malueg, D. A., 1989. “Emission credit trading and the incentive to adopt new pollution abatement technology,” *Journal of Environmental Economics and Management*. 16(1): 52-57.
- Manne, A. S. and R. G. Richels, 1991. “International trade in carbon emission rights: A decomposition procedure,” *The American Economic Review*. 81(2): 135-139.
- Maradan, D. and A. Vassiliev, 2005. “Marginal costs of carbon dioxide abatement: Empirical evidence from cross-country analysis,” *Swiss Journal of Economics and Statistics*. 141(3): 377-410.
- Marklund, P.-O. and E. Samakovlis, 2007. “What is driving the EU burden-sharing agreement: Efficiency or equity?” *Journal of Environmental Management*, 85(2): 317-329.
- Marland, G., T. A. Boden, and R. J. Andres, 2008. Global, Regional, and National Fossil Fuel CO<sub>2</sub> Emission. In Trends: A Compendium of Data on Global Change Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. 2008年10月20日取自 [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_coun.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_coun.html)。
- Michaelowa, A., M. Stronzik, F. Eckermann, and A. Hunt, 2003. ”Transaction costs of the Kyoto mechanisms,” *Climate Policy*. 3(3): 261-278.
- Misra, D. and S. Kant, 2005. “Economic efficiency and shadow prices of social and biological outputs of village-level organizations of joint forest management in Gujarat, India,” *Journal of Forest Economics*. 11(3): 141-160.
- Montgomery, W. D., 1972.”Markets in licenses and efficient pollution control programs.” *Journal of Economic Theory*, 5(3): 395-418.
- Organization for Economic Co-operation and Development, 1998. *Economic modeling of climate change*. Paris, France: Organization for Economic Co-operation and Development.
- Ott, H., 1998. “Operationalizing ‘joint implementation’- Organizational and institutional aspects of a new instrument in international climate policy,” *Global Environmental Change*. 8(1): 11-47.
- Parry, I. W. H., 2004. “Are emissions permits regressive?” *Journal of Environmental Economics and Management*. 47(2): 364-387.
- Pittman, R. W., 1981. “Issue in pollution control: interplant cost differences and economies of scale,” *Land Economics*. 57(1): 1-17.

- Pizer, W. D. Burtraw, W., Harrington, R. Newell, and J. Ssnchirico, 2006. "Modeling economic-wide vs. sectoral climate policies," *Energy Journal*. 27(3): 135-168.
- Reig-Martínez, E., A. Picazo-Tadeo, and F. Hernández-Sancho, 2001. "The calculation of shadow prices for industrial wastes using distance functions: An analysis for Spanish ceramic pavements firms," *International Journal of Production Economics*. 69(3): 277-285.
- Rose, A., B. Stevens, J. Edmonds, and M. Wise, 1998. "International equity and differentiation in global warming policy," *Environmental and Resource Economics*. 12(1): 25-51.
- Shogren, J. and M. Toman, 2000. "Climate Change Policy," In *Public Policies for Environmental Protection*. Edited by P. R. Portney and R. N. Stavins. Washington: Resources for the Future.
- Stavins, R. N., 1995. "Transaction costs and tradeable permits," *Journal of Environmental Economics and Management*. 29(2): 133-148.
- Stankevicitue, L., A. Kitous, and P. Criqui, 2008. "The fundamentals of the future international emissions trading system," *Energy Policy*. 36(11): 4272-4286.
- Tietenberg, T. H., 1985. *Emissions trading: An exercise in reforming pollution policy*. Washington: Resources for the Future.
- Victor, D., 2001. *The collapse of the Kyoto Protocol and the struggle to slow global warming*, Princeton: Princeton University Press.
- Woerdman, E., 2001. "Emissions trading and transaction costs: analyzing the flaws in the discussion," *Ecological Economics*. 38(2): 293-304.
- 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(2): 121-132.

**附錄一：107 國在 1990-2005 年間 GDP  
與二氧化碳排放量之變動比例**



附錄一 107 國在 1990-2005 年間 GDP 與二氧化碳排放量之變動比例

國家	GDP 變動比例	二氧化碳 變動比例	國家	GDP 變動比例	二氧化碳 變動比例
阿爾及利亞	50.03%	78.64%	捷克	23.55%	-13.41%
安哥拉	76.46%	93.53%	丹麥	38.13%	-7.40%
阿根廷	72.12%	39.17%	多明尼加	111.14%	96.28%
亞美尼亞	20.68%	18.13%	厄瓜多爾	55.71%	76.82%
澳大利亞	61.60%	25.85%	埃及	82.44%	129.98%
奧地利	38.26%	27.82%	薩爾瓦多	75.38%	144.54%
亞塞拜然	10.86%	-9.00%	愛沙尼亞	36.98%	-26.82%
巴林	130.46%	67.96%	芬蘭	37.73%	5.15%
孟加拉共和國	108.18%	160.11%	法國	31.86%	3.97%
白俄羅斯	27.36%	-33.09%	加彭	28.49%	-74.92%
比利時	32.97%	3.57%	德國	27.12%	-20.05%
貝南	93.17%	258.97%	迦納	94.81%	94.26%
玻利維亞	68.56%	68.22%	希臘	55.83%	32.02%
波黎那	138.76%	109.97%	瓜地馬拉	74.08%	125.00%
巴西	46.34%	60.65%	海地	-14.74%	77.86%
汶萊	38.26%	-7.90%	宏都拉斯	73.45%	186.85%
保加利亞	8.64%	-41.04%	匈牙利	33.43%	-6.22%
喀麥隆	37.46%	131.51%	冰島	58.28%	8.17%
加拿大	51.27%	25.44%	印度	138.09%	106.27%
智利	128.44%	87.12%	印尼	90.46%	181.05%
中國	325.86%	131.23%	愛爾蘭	156.75%	38.29%
哥倫比亞	51.19%	2.06%	以色列	93.19%	92.01%
剛果民主共和國	-31.61%	-46.03%	義大利	21.17%	-88.53%
剛果	42.21%	70.63%	牙買加	31.92%	27.58%
哥斯大黎加	103.51%	150.38%	日本	20.76%	13.82%
象牙海岸	25.45%	61.50%	約旦	122.55%	101.37%
克羅埃西亞	8.27%	36.12%	哈薩克	13.70%	-28.41%

附錄一（續）

國家	GDP 變動比例	二氧化碳 變動比例	國家	GDP 變動比例	二氧化碳 變動比例
肯亞	43.95%	90.50%	沙烏地阿拉伯	57.46%	93.04%
南韓	125.49%	87.20%	塞內加爾	70.15%	61.87%
拉脫維亞	11.43%	-49.31%	新加坡	152.44%	34.17%
黎巴嫩	146.30%	85.74%	斯洛伐克	29.17%	-17.31%
立陶宛	3.72%	-34.57%	斯洛維尼亞	42.72%	20.56%
盧森堡	89.99%	14.29%	南非	44.93%	23.17%
馬來西亞	146.02%	333.86%	西班牙	54.51%	62.24%
馬爾他	69.52%	14.29%	斯里蘭卡	101.99%	193.08%
墨西哥	53.71%	12.34%	蘇丹	134.62%	97.28%
摩爾達維亞	-49.87%	-23.23%	瑞典	36.20%	-1.92%
摩洛哥	60.76%	104.40%	瑞士	17.08%	-3.58%
莫三比克	144.83%	88.60%	台灣	60.12%	97.52%
尼泊爾	91.62%	395.93%	泰國	98.17%	182.94%
荷蘭	44.69%	-9.98%	多哥	38.28%	79.02%
紐西蘭	56.72%	33.37%	千里達及托巴哥	106.41%	93.09%
尼加拉瓜	63.10%	47.92%	突尼西亞	97.24%	65.74%
挪威	60.47%	74.67%	烏克蘭	-37.14%	-45.48%
阿曼	96.75%	206.28%	阿拉伯聯合大公國	124.48%	126.29%
巴基斯坦	87.78%	97.43%	英國	43.40%	-4.00%
巴拿馬	102.34%	88.06%	美國	55.86%	20.40%
巴拉圭	35.47%	71.47%	烏拉圭	41.00%	42.17%
秘魯	81.40%	75.96%	烏茲別克斯坦	27.50%	2.59%
菲律賓	67.96%	70.71%	委內瑞拉	39.49%	26.22%
波蘭	69.04%	-13.01%	越南	198.10%	376.04%
葡萄牙	38.10%	47.33%	尚比亞	35.02%	-3.15%
羅馬尼亞	11.08%	-42.56%	辛巴威	-16.57%	-31.17%
俄羅斯聯邦	-9.34%	-24.23%			

資料來源：本研究整理自 Marland、Boden 與 Andres (2008)；世界銀行 (2008)。

附錄二：107 國在 1990-2005 年間

各指標之平均值與標準差



附錄二 107 國在 1990-2005 年間各指標之平均值與標準差

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
阿爾及利亞	53,068 (7,799)	27,944 (5,185)	10,121 (1,986)	15,381 (3,083)	28,100 (3,401)
安哥拉	8,997 (2,367)	1,892 (575)	5,768 (795)	1,477 (729)	2,292 (541)
阿根廷	260,213 (34,357)	35,419 (3,503)	15,481 (1,733)	45,379 (11,456)	49,437 (4,928)
亞美尼亞	2,074 (644)	918 (122)	1,458 (228)	505 (356)	2,375 (2,270)
澳大利亞	368,289 (63,269)	88,022 (6,116)	9,268 (631)	88,771 (18,706)	96,384 (10,340)
奧地利	179,606 (18,687)	16,953 (1,468)	3,826 (134)	40,538 (3,151)	22,658 (2,207)
亞塞拜然	6,086 (2,002)	9,122 (1,447)	3,549 (319)	1,695 (1,309)	14,440 (4,945)
巴林	7,364 (1,733)	4,351 (786)	280 (39)	1,314 (473)	5,941 (1,087)
孟加拉共和國	42,768 (10,071)	6,964 (2,193)	59,506 (5,907)	9,133 (3,248)	10,036 (3,224)
白俄羅斯	12,953 (2,454)	18,905 (3,685)	4,938 (180)	3,563 (874)	27,237 (6,261)
比利時	216,384 (21,299)	27,766 (1,195)	4,248 (161)	44,373 (4,308)	42,273 (2,551)
貝南	2,026 (441)	410 (154)	2,627 (404)	355 (108)	407 (297)
玻利維亞	7,737 (1,230)	2,195 (444)	3,268 (549)	1,235 (297)	3,229 (812)
波紮那	5,350 (1,584)	983 (200)	599 (56)	1,842 (801)	1,071 (160)
巴西	608,928 (73,476)	74,883 (11,830)	78,803 (8,828)	109,065 (8,525)	97,994 (16,758)
汶萊	5,786 (589)	1,522 (137)	137 (17)	1,345 (516)	2,347 (253)
保加利亞	13,259 (1,411)	13,848 (2,604)	3,660 (421)	2,487 (997)	16,394 (2,833)
喀麥隆	9,506 (1,462)	925 (257)	5,764 (699)	1,572 (457)	1,024 (108)
加拿大	657,359 (100,962)	128,072 (11,789)	15,851 (1,029)	129,469 (25,149)	179,998 (17,326)

附錄二（續）

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
智利	67,886 (15,738)	13,835 (3,091)	5,859 (472)	16,026 (3,272)	16,615 (4,374)
中國	1,041,324 (443,926)	933,661 (235,622)	716,873 (37,896)	412,955 (192,743)	890,622 (225,703)
哥倫比亞	81,343 (9,410)	16,213 (1,137)	17,956 (2,615)	15,240 (3,591)	19,786 (1,510)
剛果民主共和國	5,256 (965)	679 (203)	19,190 (2,514)	440 (346)	978 (237)
剛果	3,151 (362)	400 (139)	1,283 (192)	791 (147)	248 (85)
哥斯大黎加	14,161 (3,081)	1,407 (340)	1,506 (264)	2,837 (905)	1,606 (308)
象牙海岸	9,597 (1,001)	1,668 (406)	5,887 (727)	1,064 (298)	1,998 (671)
克羅埃西亞	18,279 (2,875)	5,364 (683)	2,029 (71)	4,126 (1,779)	6,739 (670)
捷克	55,607 (5,651)	34,275 (2,076)	5,198 (85)	15,695 (2,048)	38,250 (2,475)
丹麥	147,387 (15,926)	14,672 (1,647)	2,864 (38)	29,008 (4,694)	18,239 (1,490)
多明尼加	16,642 (4,200)	4,544 (1,128)	3,361 (402)	3,745 (1,006)	5,117 (1,262)
厄瓜多爾	16,161 (2,035)	6,053 (1,190)	5,001 (813)	3,491 (803)	6,552 (1,375)
埃及	89,335 (18,073)	32,119 (8,851)	18,715 (2,142)	17,397 (2,655)	40,520 (9,322)
薩爾瓦多	11,884 (2,013)	1,393 (332)	2,307 (257)	1,998 (361)	1,624 (391)
愛沙尼亞	5,611 (1,272)	5,256 (842)	716 (67)	1,671 (561)	5,256 (1,740)
芬蘭	110,862 (16,675)	14,962 (1,754)	2,558 (62)	21,502 (4,435)	19,374 (1,751)
法國	1,242,009 (123,065)	99,835 (3,618)	25,828 (802)	240,463 (29,676)	138,088 (6,294)
加彭	5,045 (408)	699 (382)	494 (63)	1,280 (313)	560 (71)
德國	1,787,719 (133,371)	228,598 (13,085)	40,134 (603)	369,526 (24,854)	294,877 (6,889)

附錄二（續）

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
迦納	4,597 (946)	1,584 (346)	8,320 (1,026)	1,037 (395)	1,688 (584)
希臘	137,478 (21,070)	22,708 (2,439)	4,661 (318)	32,141 (7,057)	24,489 (2,927)
瓜地馬拉	17,530 (3,075)	2,258 (627)	3,421 (398)	3,063 (953)	2,478 (796)
海地	3,829 (294)	336 (115)	3,333 (383)	801 (282)	418 (151)
宏都拉斯	6,738 (1,091)	1,266 (445)	2,162 (396)	1,960 (375)	1,370 (442)
匈牙利	45,527 (7,092)	15,529 (640)	4,272 (154)	11,383 (2,855)	21,431 (857)
冰島	7,985 (1,324)	564 (36)	158 (11)	1,653 (524)	854 (95)
印度	415,184 (115,600)	282,283 (61,019)	376,105 (33,401)	107,480 (45,586)	267,183 (58,152)
印尼	160,615 (27,641)	73,421 (20,594)	90,896 (10,609)	41,323 (10,259)	88,965 (19,916)
愛爾蘭	80,257 (26,874)	10,230 (1,308)	1,629 (236)	17,942 (8,480)	12,584 (1,975)
以色列	103,781 (19,831)	14,908 (3,289)	2,244 (336)	22,629 (2,376)	16,736 (2,789)
義大利	1,039,034 (73,773)	101,070 (34,680)	23,617 (523)	211,716 (19,086)	152,019 (10,694)
牙買加	7,899 (578)	2,626 (276)	1,164 (15)	2,236 (315)	3,083 (404)
日本	4,546,289 (234,709)	316,991 (14,905)	66,787 (1,121)	1,226,769 (100,608)	411,260 (20,748)
約旦	7,921 (1,809)	3,968 (764)	1,336 (302)	2,074 (415)	4,786 (943)
哈薩克	20,980 (4,483)	47,494 (13,001)	7,687 (148)	5,161 (2,086)	50,903 (13,859)
肯亞	12,209 (1,422)	2,257 (550)	12,966 (2,003)	2,159 (276)	2,598 (451)
南韓	457,443 (110,913)	104,388 (20,369)	21,885 (1,607)	149,314 (27,006)	138,102 (32,381)
拉脫維亞	7,986 (1,879)	2,393 (699)	1,209 (123)	2,180 (1,108)	3,413 (1,220)

附錄二（續）

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
黎巴嫩	15,690 (3,319)	3,910 (759)	1,318 (177)	3,885 (1,107)	4,411 (1,098)
立陶宛	12,295 (2,510)	4,292 (896)	1,747 (98)	2,816 (980)	6,175 (2,655)
盧森堡	17,619 (3,699)	2,584 (387)	180 (12)	4,003 (773)	3,389 (486)
馬來西亞	78,946 (20,047)	33,124 (12,197)	9,102 (1,357)	23,745 (5,631)	40,929 (11,387)
馬爾他	3,364 (562)	687 (104)	147 (14)	822 (123)	835 (77)
墨西哥	518,779 (73,063)	105,102 (3,878)	37,081 (4,060)	116,361 (16,653)	128,026 (13,260)
摩爾達維亞	1,775 (673)	2,773 (1,038)	1,965 (75)	538 (334)	4,570 (2,206)
摩洛哥	36,214 (5,846)	9,006 (1,762)	9,398 (1,100)	8,978 (2,522)	8,839 (1,817)
莫三比克	3,948 (1,276)	342 (76)	8,168 (1,052)	860 (328)	437 (98)
尼泊爾	4,900 (993)	637 (241)	8,658 (1,096)	1,131 (293)	744 (268)
荷蘭	346,860 (45,569)	38,592 (1,751)	7,768 (560)	73,733 (8,037)	71,035 (3,786)
紐西蘭	48,114 (7,369)	7,578 (913)	1,896 (156)	10,578 (2,491)	11,343 (1,291)
尼加拉瓜	3,533 (624)	877 (185)	1,692 (229)	942 (312)	1,016 (268)
挪威	153,283 (23,191)	9,800 (1,820)	2,335 (122)	32,316 (5,417)	14,013 (2,152)
阿曼	18,517 (3,635)	5,395 (2,109)	802 (117)	2,956 (939)	8,418 (2,883)
巴基斯坦	68,941 (12,412)	26,309 (5,491)	43,777 (7,221)	12,421 (1,931)	34,087 (7,016)
巴拿馬	10,487 (2,055)	1,390 (314)	1,190 (169)	2,337 (507)	1,571 (382)
巴拉圭	7,052 (593)	992 (200)	2,192 (366)	1,591 (211)	1,092 (232)
祕魯	49,350 (9,046)	7,124 (1,231)	10,694 (1,455)	10,001 (2,220)	7,901 (1,113)

附錄二（續）

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
菲律賓	70,485 (12,470)	18,046 (3,441)	29,696 (4,309)	14,240 (1,451)	19,956 (3,908)
波蘭	151,203 (30,074)	89,168 (6,087)	17,556 (377)	31,349 (8,366)	92,156 (4,981)
葡萄牙	101,898 (12,372)	14,433 (1,922)	5,118 (275)	25,272 (4,027)	18,840 (3,059)
羅馬尼亞	39,889 (4,091)	29,296 (5,677)	11,229 (613)	9,433 (1,900)	38,850 (8,137)
俄羅斯聯邦	285,547 (51,710)	432,550 (59,806)	72,780 (2,053)	68,905 (27,858)	615,640 (89,088)
沙烏地阿拉伯	180,275 (21,667)	78,747 (15,086)	6,403 (1,003)	35,558 (5,253)	100,397 (21,712)
塞內加爾	4,361 (779)	1,063 (173)	3,920 (459)	727 (388)	1,241 (328)
新加坡	77,494 (20,984)	13,620 (1,577)	1,909 (204)	22,494 (4,689)	21,946 (4,266)
斯洛伐克	19,654 (3,013)	10,655 (811)	2,585 (69)	5,605 (1,185)	14,034 (1,084)
斯洛維尼亞	18,114 (2,969)	3,801 (380)	960 (45)	4,325 (1,301)	4,483 (500)
南非	127,049 (16,678)	99,044 (6,704)	17,426 (1,829)	21,213 (3,510)	91,714 (10,210)
西班牙	536,556 (82,353)	71,053 (12,000)	17,676 (1,508)	134,316 (34,158)	91,738 (16,676)
斯里蘭卡	14,379 (3,068)	2,109 (731)	7,582 (447)	3,539 (828)	2,718 (1,005)
蘇丹	11,111 (3,001)	1,616 (645)	8,841 (833)	2,087 (881)	2,129 (761)
瑞典	224,454 (26,744)	13,372 (872)	4,609 (85)	39,032 (5,155)	18,701 (786)
瑞士	234,758 (14,342)	11,197 (329)	3,959 (158)	54,627 (4,622)	15,557 (391)
台灣	286,807 (33,783)	51,889 (10,109)	9,447 (594)	64,176 (8,923)	158,282 (47,240)
泰國	118,776 (21,718)	52,017 (14,192)	33,289 (1,656)	37,443 (9,096)	55,318 (16,568)
多哥	1,228 (189)	293 (74)	1,959 (314)	213 (59)	286 (94)

附錄二（續）

國家	GDP <sup>a</sup>	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	總勞動力 <sup>a</sup>	國內資本形 成毛額 <sup>a</sup>	化石能源 消費 <sup>a</sup>
千里達及托巴哥	7,824 (2,051)	6,331 (1,355)	554 (58)	1,641 (601)	8,497 (2,378)
突尼西亞	17,524 (3,803)	4,930 (758)	3,092 (451)	4,559 (874)	5,999 (1,070)
烏克蘭	42,093 (13,515)	109,747 (31,077)	24,621 (1,607)	10,833 (5,357)	143,916 (41,233)
阿拉伯聯合大公國	66,154 (18,210)	24,660 (9,505)	1,623 (548)	16,885 (4,244)	33,414 (7,481)
英國	1,341,425 (175,916)	150,747 (3,168)	29,497 (572)	230,210 (31,527)	201,195 (5,246)
美國	8,840,000 (1,328,084)	1,460,095 (89,893)	142,301 (8,538)	1,643,433 (322,861)	1,861,901 (123,961)
烏拉圭	19,056 (1,946)	1,322 (168)	1,547 (94)	2,734 (414)	1,686 (266)
烏茲別克斯坦	13,648 (1,908)	30,756 (2,125)	9,299 (1,134)	3,008 (802)	47,400 (2,910)
委內瑞拉	113,292 (8,854)	37,559 (5,736)	9,699 (1,795)	24,217 (7,556)	48,556 (4,085)
越南	27,612 (9,251)	13,359 (7,259)	37,394 (3,923)	8,073 (4,310)	12,309 (6,699)
尚比亞	3,252 (364)	601 (69)	4,201 (460)	574 (209)	736 (109)
辛巴威	7,042 (792)	4,115 (679)	5,175 (501)	1,189 (360)	3,958 (679)

資料來源：本研究整理自 Marland、Boden 與 Andres（2008）；世界銀行（2008）。

註 a：GDP 的單位為百萬美元、二氧化碳排放量單位為千公噸、總勞動力的單位為千人、國內資本形成毛額的單位為百萬美元、化石能源消費的單位為千公噸。

註 b：括弧內為該指標之標準差。

附錄三：方向產出距離函數中國家效果  
與時間效果之參數估計值



附錄三 方向產出距離函數中國家效果之參數估計值

國家	國家效果	國家	國家效果	國家	國家效果
阿爾及利亞	-0.05	捷克	-0.052	肯亞	-0.027
安哥拉	0.072	丹麥	-0.057	南韓	-0.076
阿根廷	-0.036	多明尼加	-0.045	拉脫維亞	0.033
亞美尼亞	-0.005	厄瓜多爾	-0.005	黎巴嫩	-0.07
澳大利亞	-0.063	埃及	-0.062	立陶宛	-0.025
奧地利	-0.068	薩爾瓦多	-0.056	盧森堡	-0.012
亞塞拜然	0.221	愛沙尼亞	0.016	馬來西亞	-0.012
巴林	-0.009	芬蘭	-0.063	馬爾他	0.048
孟加拉共和國	-0.076	法國	-0.065	墨西哥	-0.068
白俄羅斯	0.011	加彭	0.004	摩爾達維亞	0.518
比利時	-0.063	德國	-0.071	摩洛哥	-0.049
貝南	-0.034	迦納	-0.042	莫三比克	-0.04
玻利維亞	-0.047	希臘	-0.068	尼泊爾	-0.062
波黎那	-0.056	瓜地馬拉	-0.017	荷蘭	-0.07
巴西	-0.043	海地	0.188	紐西蘭	-0.065
汶萊	-0.035	宏都拉斯	-0.042	尼加拉瓜	-0.059
保加利亞	-0.013	匈牙利	-0.06	挪威	-0.057
喀麥隆	0.006	冰島	-0.08	阿曼	-0.025
加拿大	-0.073	印度	-0.084	巴基斯坦	-0.066
智利	-0.075	印尼	-0.01	巴拿馬	-0.067
中國	0.032	愛爾蘭	-0.004	巴拉圭	-0.029
哥倫比亞	-0.051	以色列	-0.077	祕魯	-0.069
剛果民主共和國	-0.008	義大利	0.047	菲律賓	-0.061
剛果	0.009	牙買加	-0.008	波蘭	-0.019
哥斯大黎加	-0.046	日本	-0.054	葡萄牙	-0.066
象牙海岸	0.044	約旦	-0.058	羅馬尼亞	-0.051
克羅埃西亞	0.17	哈薩克	-0.054	俄羅斯聯邦	0.035

附錄三（續）

國家	國家效果	國家	國家效果	國家	國家效果
沙烏地阿拉伯	-0.026	瑞典	-0.059	英國	-0.077
塞內加爾	-0.059	瑞士	-0.059	美國	-0.089
新加坡	0.074	台灣	-0.004	烏拉圭	-0.017
斯洛伐克	-0.045	泰國	-0.073	烏茲別克斯坦	-0.043
斯洛維尼亞	-0.025	多哥	0.024	委內瑞拉	0.013
南非	-0.075	千里達及托巴哥	-0.042	越南	-0.062
西班牙	-0.057	突尼西亞	-0.078	尚比亞	-0.031
斯里蘭卡	-0.059	烏克蘭	0.113	辛巴威	0.000
蘇丹	-0.031	阿拉伯聯合大公國	-0.033		

資料來源：本研究估算。

附錄三 方向產出距離函數中時間效果之參數估計值

時間	時間效果	時間	時間效果	時間	時間效果
1990	-0.211	1996	-0.183	2002	-0.085
1991	-0.21	1997	-0.17	2003	-0.068
1992	-0.221	1998	-0.155	2004	-0.033
1993	-0.216	1999	-0.136	2005	0.000
1994	-0.205	2000	-0.111		
1995	-0.203	2001	-0.097		

資料來源：本研究估算。

附錄四：各國邊際減量成本曲線之 $\alpha_0$ 值



附錄四 EU 在 2010 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
奧地利	0.000411	希臘	0.000185	葡萄牙	0.000309
比利時	0.000214	匈牙利	0.000150	羅馬尼亞	0.000036
保加利亞	0.000046	愛爾蘭	0.000522	斯洛伐克	0.000162
捷克	0.000038	義大利	0.000069	斯洛維尼亞	0.000898
丹麥	0.000594	拉脫維亞	0.001777	西班牙	0.000067
愛沙尼亞	0.000229	立陶宛	0.000902	瑞典	0.001033
芬蘭	0.000419	盧森堡	0.002028	英國	0.000046
法國	0.000092	荷蘭	0.000166		
德國	0.000026	波蘭	0.000014		

資料來源：本研究估算。

附錄四 附件 B 國家在 2010 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
澳大利亞	0.000030	匈牙利	0.000150	葡萄牙	0.000309
奧地利	0.000411	冰島	0.015134	羅馬尼亞	0.000036
比利時	0.000214	愛爾蘭	0.000522	俄羅斯聯邦	0.000000
保加利亞	0.000046	義大利	0.000069	斯洛伐克	0.000162
加拿大	0.000027	日本	0.000033	斯洛維尼亞	0.000898
克羅埃西亞	0.000530	拉脫維亞	0.001777	西班牙	0.000067
捷克	0.000038	立陶宛	0.000902	瑞典	0.001033
丹麥	0.000594	盧森堡	0.002028	瑞士	0.001344
愛沙尼亞	0.000229	摩洛哥	0.000242	烏克蘭	0.000002
芬蘭	0.000419	荷蘭	0.000166	英國	0.000046
法國	0.000092	紐西蘭	0.000532	美國	0.000004
德國	0.000026	挪威	0.001226		
希臘	0.000185	波蘭	0.000014		

資料來源：本研究估算。

附錄四 EU 在 2020 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
奧地利	0.000405	希臘	0.000026	葡萄牙	0.000305
比利時	0.000212	匈牙利	0.000183	羅馬尼亞	0.000034
保加利亞	0.000036	愛爾蘭	0.000138	斯洛伐克	0.000149
捷克	0.000036	義大利	0.000515	斯洛維尼亞	0.000820
丹麥	0.000586	拉脫維亞	0.000068	西班牙	0.000066
愛沙尼亞	0.000210	立陶宛	0.001625	瑞典	0.001019
芬蘭	0.000414	盧森堡	0.000825	英國	0.000045
法國	0.000091	荷蘭	0.002002		
德國	0.000405	波蘭	0.000164		

資料來源：本研究估算。

附錄四 APEC 在 2020 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
澳大利亞	0.000028	南韓	0.000024	新加坡	0.000096
汶萊	0.000626	馬來西亞	0.000038	台灣	0.000035
加拿大	0.000025	墨西哥	0.000025	泰國	0.000021
智利	0.000141	紐西蘭	0.000481	美國	0.000004
中國	0.000008	秘魯	0.000422	越南	0.000053
印尼	0.000016	菲律賓	0.000078		
日本	0.000033	俄羅斯聯邦	0.000001		

資料來源：本研究估算。

附錄四 USAN 在 2020 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
阿根廷	0.0000932	哥倫比亞	0.0001216	烏拉圭	0.0054426
玻利維亞	0.0005400	厄瓜多爾	0.0002041	委內瑞拉	0.0000400
巴西	0.0000527	巴拉圭	0.0034808		
智利	0.0001411	秘魯	0.0004218		

資料來源：本研究估算。

附錄四 ASEAN 在 2020 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
汶萊	0.00063	菲律賓	0.00008	越南	0.00005
印尼	0.00002	新加坡	0.00010		
馬來西亞	0.00004	泰國	0.00002		

資料來源：本研究估算。

附錄四 OECD 在 2020 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
澳大利亞	0.000028	匈牙利	0.000138	紐西蘭	0.000481
奧地利	0.000405	冰島	0.014933	挪威	0.001210
比利時	0.000212	愛爾蘭	0.000515	波蘭	0.000014
加拿大	0.000025	義大利	0.000068	葡萄牙	0.000305
捷克	0.000036	日本	0.000033	斯洛伐克	0.000149
丹麥	0.000586	南韓	0.000024	西班牙	0.000066
芬蘭	0.000414	盧森堡	0.002002	瑞典	0.001019
法國	0.000091	馬爾他	0.003820	瑞士	0.001326
德國	0.000026	墨西哥	0.000025	英國	0.000045
希臘	0.000183	荷蘭	0.000164	美國	0.000004

資料來源：本研究估算。

附錄四 107 個樣本國在 2030 年邊際減量成本函數之  $\alpha_0$  值

國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$	國家	$\alpha_0$
阿爾及利亞	0.000042	加彭	0.002737	巴基斯坦	0.000034
安哥拉	0.000673	德國	0.000025	巴拿馬	0.003269
阿根廷	0.000078	迦納	0.000559	巴拉圭	0.002833
亞美尼亞	0.000912	希臘	0.000176	祕魯	0.000345
澳大利亞	0.000027	瓜地馬拉	0.000872	菲律賓	0.000066
奧地利	0.000389	海地	0.007667	波蘭	0.000014
亞塞拜然	0.000052	宏都拉斯	0.001374	葡萄牙	0.000292
巴林	0.000123	匈牙利	0.000133	羅馬尼亞	0.000033
孟加拉共和國	0.000202	冰島	0.014359	俄羅斯聯邦	0.000002
白俄羅斯	0.000030	印度	0.000010	沙烏地阿拉伯	0.000015
比利時	0.000203	印尼	0.000016	塞內加爾	0.001027
貝南	0.003356	愛爾蘭	0.000494	新加坡	0.000081
玻利維亞	0.000441	以色列	0.000166	斯洛伐克	0.000143
波黎那	0.002987	義大利	0.000066	斯洛維尼亞	0.000789
巴西	0.000045	牙買加	0.000390	南非	0.000011
汶萊	0.000517	日本	0.000035	西班牙	0.000064
保加利亞	0.000032	約旦	0.000163	斯里蘭卡	0.001006
喀麥隆	0.005494	哈薩克	0.000008	蘇丹	0.000887
加拿大	0.000023	肯亞	0.001095	瑞典	0.000977
智利	0.000117	南韓	0.000024	瑞士	0.001271
中國	0.000009	拉脫維亞	0.001559	台灣	0.000031
哥倫比亞	0.000101	黎巴嫩	0.000189	泰國	0.000019
剛果民主國	0.002523	立陶宛	0.000793	多哥	0.002406
剛果	0.005722	盧森堡	0.001917	千里達及托巴哥	0.000066
哥斯大黎加	0.002753	馬來西亞	0.000033	突尼西亞	0.000277
象牙海岸	0.001282	馬爾他	0.003676	烏克蘭	0.000001
克羅埃西亞	0.000466	墨西哥	0.000024	阿拉伯聯合大公國	0.000051
捷克共和國	0.000035	摩爾達維亞	0.000364	英國	0.000044
丹麥	0.000562	摩洛哥	0.000472	美國	0.000004
多明尼加共和國	0.000323	莫三比克	0.010900	烏拉圭	0.004429
厄瓜多爾	0.000168	尼泊爾	0.003428	烏茲別克斯坦	0.000011
埃及	0.000043	荷蘭	0.000157	委內瑞拉	0.000035
薩爾瓦多	0.002078	紐西蘭	0.000455	越南	0.000046
愛沙尼亞	0.000202	尼加拉瓜	0.001161	尚比亞	0.004034
芬蘭	0.000397	挪威	0.001160	辛巴威	0.000222
法國	0.000087	阿曼	0.000223		

資料來源：本研究估算。

附錄五：各情境下之二氧化碳排放權

交易制度之交易結果



附錄五 EU 在 2010 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
奧地利	1,922	3,946	1,611	633	買方
比利時	2,664	2,854	2,249	1,213	買方
保加利亞	1,627	372	365	5,684	賣方
捷克	2,959	569	1,611	6,759	賣方
丹麥	1,240	3,684	1,155	438	買方
愛沙尼亞	338	387	182	1,136	賣方
芬蘭	1,318	2,763	1,064	620	買方
法國	9,945	4,567	9,877	2,830	買方
德國	21,529	2,792	16,624	10,023	買方
希臘	2,454	2,270	1,915	1,405	買方
匈牙利	1,425	1,070	912	1,731	賣方
愛爾蘭	1,155	3,014	912	498	買方
義大利	11,660	4,033	9,361	3,757	買方
拉脫維亞	141	1,254	122	146	賣方
立陶宛	237	1,070	213	288	賣方
盧森堡	252	2,557	243	128	買方
荷蘭	4,004	3,317	3,525	1,569	買方
波蘭	8,026	573	3,221	18,213	賣方
葡萄牙	1,722	2,657	1,064	842	買方
羅馬尼亞	2,785	497	790	7,289	賣方
斯洛伐克	821	664	486	1,609	賣方
斯洛維尼亞	393	1,764	274	290	賣方
西班牙	8,866	2,948	6,321	3,908	買方
瑞典	1,196	6,178	1,489	252	買方
英國	13,958	3,205	11,336	5,660	買方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 附件 B 國家在 2010 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
澳大利亞	11,347	1,700	5,197	1,304	買方
奧地利	1,922	3,946	1,611	95	買方
比利時	2,664	2,854	2,249	182	買方
保加利亞	1,627	372	365	855	賣方
加拿大	15,402	2,059	8,905	1,462	買方
克羅埃西亞	474	1,256	243	74	買方
捷克共和國	2,959	569	1,611	1,016	買方
丹麥	1,240	3,684	1,155	66	買方
愛沙尼亞	338	387	182	171	買方
芬蘭	1,318	2,763	1,064	93	買方
法國	9,945	4,567	9,877	426	買方
德國	21,529	2,792	16,624	1,507	買方
希臘	2,454	2,270	1,915	211	買方
匈牙利	1,425	1,070	912	260	買方
冰島	69	5,230	61	3	買方
愛爾蘭	1,155	3,014	912	75	買方
義大利	11,660	4,033	9,361	565	買方
日本	32,526	5,337	23,614	1,191	買方
拉脫維亞	141	1,254	122	22	買方
立陶宛	237	1,070	213	43	買方
盧森堡	252	2,557	243	19	買方
摩洛哥	1,279	1,549	91	161	賣方
荷蘭	4,004	3,317	3,525	236	買方
紐西蘭	893	2,376	577	73	買方
挪威	976	5,981	1,216	32	買方
波蘭	8,026	573	3,221	2,738	買方
葡萄牙	1,722	2,657	1,064	127	買方
羅馬尼亞	2,785	497	790	1,096	賣方
俄羅斯聯邦	39,704	42	11,670	183,642	賣方
斯洛伐克	821	664	486	242	買方
斯洛維尼亞	393	1,764	274	44	買方
西班牙	8,866	2,948	6,321	588	買方
瑞典	1,196	6,178	1,489	38	買方
瑞士	1,145	7,692	1,337	29	買方
烏克蘭	9,875	94	669	20,455	賣方
英國	13,958	3,205	11,336	851	買方
美國	155,260	2,769	100,443	10,955	買方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 不包含俄羅斯聯邦與烏克蘭之附件 B 國家在 2010 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
澳大利亞	11,347	1,700	5,197	10,622	賣方
奧地利	1,922	3,946	1,611	775	買方
比利時	2,664	2,854	2,249	1,485	買方
保加利亞	1,627	372	365	6,958	賣方
加拿大	15,402	2,059	8,905	11,901	賣方
克羅埃西亞	474	1,256	243	600	賣方
捷克共和國	2,959	569	1,611	8,273	賣方
丹麥	1,240	3,684	1,155	536	買方
愛沙尼亞	338	387	182	1,390	賣方
芬蘭	1,318	2,763	1,064	759	買方
法國	9,945	4,567	9,877	3,465	買方
德國	21,529	2,792	16,624	12,269	買方
希臘	2,454	2,270	1,915	1,720	買方
匈牙利	1,425	1,070	912	2,119	賣方
冰島	69	5,230	61	21	買方
愛爾蘭	1,155	3,014	912	610	買方
義大利	11,660	4,033	9,361	4,599	買方
日本	32,526	5,337	23,614	9,695	買方
拉脫維亞	141	1,254	122	179	賣方
立陶宛	237	1,070	213	353	賣方
盧森堡	252	2,557	243	157	買方
摩洛哥	1,279	1,549	91	1,313	賣方
荷蘭	4,004	3,317	3,525	1,920	買方
紐西蘭	893	2,376	577	598	賣方
挪威	976	5,981	1,216	260	買方
波蘭	8,026	573	3,221	22,295	賣方
葡萄牙	1,722	2,657	1,064	1,031	買方
羅馬尼亞	2,785	497	790	8,922	賣方
斯洛伐克	821	664	486	1,969	賣方
斯洛維尼亞	393	1,764	274	354	賣方
西班牙	8,866	2,948	6,321	4,784	買方
瑞典	1,196	6,178	1,489	308	買方
瑞士	1,145	7,692	1,337	237	買方
英國	13,958	3,205	11,336	6,928	買方
美國	155,260	2,769	100,443	89,199	買方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 EU 在 2020 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
奧地利	1,948	3,947	2,854	1,115	買方
比利時	2,700	2,856	3,970	2,136	買方
保加利亞	2,234	407	1,117	12,412	賣方
捷克	3,240	585	3,288	12,510	賣方
丹麥	1,257	3,685	1,985	771	買方
愛沙尼亞	370	389	372	2,153	賣方
芬蘭	1,336	2,764	1,861	1,092	買方
法國	10,080	4,574	17,370	4,978	買方
德國	21,820	2,808	29,219	17,553	買方
希臘	2,487	2,272	3,474	2,473	買方
匈牙利	1,560	1,078	1,923	3,271	賣方
愛爾蘭	1,171	3,015	1,613	877	買方
義大利	11,818	4,042	16,750	6,605	買方
拉脫維亞	154	1,255	248	278	賣方
立陶宛	260	1,071	496	548	賣方
盧森堡	255	2,557	434	226	買方
荷蘭	4,058	3,320	6,204	2,761	買方
波蘭	8,788	616	7,010	32,220	賣方
葡萄牙	1,746	2,659	1,985	1,483	買方
羅馬尼亞	3,050	512	1,985	13,465	賣方
斯洛伐克	899	668	1,055	3,042	賣方
斯洛維尼亞	431	1,766	558	551	買方
西班牙	8,985	2,955	11,539	6,870	買方
瑞典	1,213	6,179	2,544	444	買方
英國	14,147	3,216	19,914	9,937	買方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 ASEAN 在 2020 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
汶萊	463	1,451	310	160	買方
印尼	18,175	1,493	2,792	6,103	賣方
馬來西亞	6,770	1,292	4,343	2,627	買方
菲律賓	4,237	1,649	993	1,288	賣方
新加坡	4,967	2,389	4,467	1,042	買方
泰國	13,675	1,407	4,839	4,871	賣方
越南	4,563	1,204	248	1,899	賣方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 USAN 在 2020 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
阿根廷	6,172	2,875	3,660	3,063	買方
玻利維亞	503	1,358	248	528	賣方
巴西	12,847	3,385	10,732	5,416	買方
智利	2,863	2,019	1,861	2,023	賣方
哥倫比亞	3,179	1,932	1,489	2,023	賣方
厄瓜多爾	1,011	1,032	620	1,398	賣方
巴拉圭	155	2,694	62	82	賣方
秘魯	1,276	2,692	869	677	買方
烏拉圭	197	5,366	186	52	買方
委內瑞拉	6,306	1,262	2,668	7,132	賣方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 APEC 在 2020 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
澳大利亞	12,576	1,770	9,554	8,501	買方
汶萊	463	1,451	310	382	賣方
加拿大	17,541	2,182	16,564	9,620	買方
智利	2,863	2,019	1,861	1,696	買方
中國	296,660	11,964	64,270	29,669	買方
印尼	18,175	1,493	2,792	14,567	賣方
日本	32,113	5,314	41,006	7,231	買方
南韓	17,231	2,110	12,035	9,771	買方
馬來西亞	6,770	1,292	4,343	6,269	賣方
墨西哥	17,657	2,232	9,554	9,465	買方
紐西蘭	990	2,381	1,055	497	買方
秘魯	1,276	2,692	869	567	買方
菲律賓	4,237	1,649	993	3,074	賣方
俄羅斯聯邦	43,443	254	26,738	204,451	賣方
新加坡	4,967	2,389	4,467	2,488	買方
台灣	15,341	2,693	9,678	6,815	買方
泰國	13,675	1,407	4,839	11,626	賣方
美國	163,196	3,225	180,590	60,540	買方
越南	4,563	1,204	248	4,533	賣方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 OECD 在 2020 年交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
澳大利亞	12,576	1,770	9,554	21,184	賣方
奧地利	1,948	3,947	2,854	1,472	買方
比利時	2,700	2,856	3,970	2,819	買方
加拿大	17,541	2,182	16,564	23,972	賣方
捷克	3,240	585	3,288	16,510	賣方
丹麥	1,257	3,685	1,985	1,017	買方
芬蘭	1,336	2,764	1,861	1,441	買方
法國	10,080	4,574	17,370	6,570	買方
德國	21,820	2,808	29,219	23,166	買方
希臘	2,487	2,272	3,474	3,263	買方
匈牙利	1,560	1,078	1,923	4,316	賣方
冰島	70	5,230	124	40	買方
愛爾蘭	1,171	3,015	1,613	1,158	買方
義大利	11,818	4,042	16,750	8,717	買方
日本	32,113	5,314	41,006	18,019	買方
南韓	17,231	2,110	12,035	24,349	賣方
盧森堡	255	2,557	434	298	買方
馬爾他	96	1,825	124	156	賣方
墨西哥	17,657	2,232	9,554	23,585	賣方
荷蘭	4,058	3,320	6,204	3,644	買方
紐西蘭	990	2,381	1,055	1,239	賣方
挪威	989	5,982	2,109	493	買方
波蘭	8,788	616	7,010	42,523	賣方
葡萄牙	1,746	2,659	1,985	1,957	買方
斯洛伐克	899	668	1,055	4,014	賣方
西班牙	8,985	2,955	11,539	9,066	買方
瑞典	1,213	6,179	2,544	585	買方
瑞士	1,160	7,693	2,295	450	買方
英國	14,147	3,216	19,914	13,115	買方
美國	163,196	3,225	180,590	150,863	買方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 107 個樣本國在 2030 年減量至 2020 年 70% 之交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
阿爾及利亞	3,652	771	1,957	3,923	賣方
安哥拉	591	1,990	217	246	賣方
阿根廷	7,596	2,956	4,422	2,129	買方
亞美尼亞	189	862	72	182	賣方
澳大利亞	13,317	1,813	10,077	6,089	買方
奧地利	2,033	3,952	2,827	426	買方
亞塞拜然	1,078	281	290	3,183	賣方
巴林	1,138	701	797	1,345	賣方
孟加拉共和國	2,559	2,587	72	820	賣方
白俄羅斯	1,643	244	1,087	5,580	賣方
比利時	2,818	2,863	3,915	816	買方
貝南	123	2,066	0	49	賣方
玻利維亞	619	1,365	362	376	賣方
波紮那	142	2,119	217	55	買方
巴西	15,813	3,554	12,615	3,687	買方
汶萊	563	1,456	362	320	買方
保加利亞	2,710	434	1,667	5,178	賣方
喀麥隆	143	3,933	72	30	買方
加拿大	19,556	2,297	17,689	7,054	買方
智利	3,523	2,057	2,175	1,419	買方
中國	343,241	14,597	110,486	19,487	買方
哥倫比亞	3,913	1,974	1,812	1,643	買方
剛果民主國	260	3,273	0	66	賣方
剛果	109	3,131	72	29	買方
哥斯大黎加	285	3,930	217	60	買方
象牙海岸	342	2,192	0	129	賣方
克羅埃西亞	540	1,260	725	355	買方
捷克共和國	3,376	593	3,625	4,718	賣方
丹麥	1,312	3,688	1,957	295	買方
多明尼加共和國	915	1,476	362	514	賣方
厄瓜多爾	1,244	1,045	725	986	賣方
埃及	5,934	1,279	1,812	3,846	賣方
薩爾瓦多	320	3,321	145	80	買方
愛沙尼亞	386	390	435	820	賣方
芬蘭	1,395	2,768	1,812	418	買方
法國	10,519	4,600	16,674	1,895	買方
加彭	232	3,170	217	61	買方
德國	22,770	2,863	28,782	6,591	買方
迦納	403	1,126	0	297	賣方
希臘	2,596	2,278	3,480	944	買方

附錄五（續）

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
瓜地馬拉	699	3,049	145	190	賣方
海地	112	4,312	0	22	賣方
宏都拉斯	322	2,213	72	121	賣方
匈牙利	1,626	1,081	2,102	1,246	買方
冰島	73	5,230	72	12	買方
印度	110,668	5,301	16,964	17,301	賣方
印尼	22,050	1,713	5,582	10,666	賣方
愛爾蘭	1,222	3,018	1,595	335	買方
以色列	3,416	2,843	2,610	996	買方
義大利	12,332	4,071	16,529	2,510	買方
牙買加	578	1,129	217	424	賣方
日本	29,535	5,166	39,729	4,738	買方
約旦	1,013	824	145	1,019	賣方
哈薩克	6,848	290	2,755	19,547	賣方
肯亞	384	2,104	72	151	賣方
南韓	18,248	2,168	13,340	6,974	買方
拉脫維亞	161	1,255	290	106	買方
黎巴嫩	1,743	1,648	507	877	賣方
立陶宛	270	1,071	507	209	買方
盧森堡	267	2,558	362	86	買方
馬來西亞	8,213	1,374	5,872	4,954	買方
馬爾他	99	1,825	145	45	買方
墨西哥	19,685	2,348	11,020	6,946	買方
摩爾達維亞	139	253	72	455	賣方
摩洛哥	641	1,512	435	351	買方
莫三比克	88	4,772	0	15	賣方
尼泊爾	184	3,156	0	48	賣方
荷蘭	4,235	3,330	6,017	1,054	買方
紐西蘭	1,048	2,385	1,087	364	買方
尼加拉瓜	266	1,547	72	143	賣方
挪威	1,032	5,984	1,957	143	買方
阿曼	1,342	1,494	942	744	買方
巴基斯坦	7,679	1,309	580	4,863	賣方
巴拿馬	181	2,957	362	51	買方
巴拉圭	190	2,696	72	59	買方
秘魯	1,571	2,709	1,087	481	買方
菲律賓	5,141	1,701	1,667	2,505	賣方
波蘭	9,157	637	8,120	11,908	賣方
葡萄牙	1,822	2,663	2,030	567	買方
羅馬尼亞	3,178	519	2,465	5,073	賣方

附錄五（續）

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
俄羅斯聯邦	45,334	361	33,276	103,945	賣方
沙烏地阿拉伯	21,286	1,633	12,035	10,804	買方
塞內加爾	299	1,537	0	161	賣方
新加坡	6,026	2,449	5,655	2,039	買方
斯洛伐克	937	670	1,160	1,159	買方
斯洛維尼亞	448	1,767	580	210	買方
南非	21,235	1,124	8,772	15,649	賣方
西班牙	9,376	2,977	11,600	2,610	買方
斯里蘭卡	563	2,832	435	165	買方
蘇丹	673	2,984	72	187	賣方
瑞典	1,266	6,182	2,392	170	買方
瑞士	1,211	7,696	2,175	130	買方
台灣	18,612	2,879	12,397	5,356	買方
泰國	16,590	1,574	7,395	8,733	賣方
多哥	136	1,634	0	69	賣方
千里達及托巴哥	1,684	558	870	2,502	賣方
突尼西亞	1,008	1,396	507	599	賣方
烏克蘭	8,651	26	3,480	279,129	賣方
阿拉伯聯合大公國	5,210	1,318	5,075	3,276	買方
英國	14,762	3,252	19,357	3,762	買方
美國	170,080	3,621	184,651	38,924	買方
烏拉圭	242	5,369	217	37	買方
烏茲別克斯坦	3,089	166	362	15,460	賣方
委內瑞拉	7,762	1,344	3,407	4,784	賣方
越南	5,536	1,260	652	3,641	賣方
尚比亞	99	2,000	0	41	賣方
辛巴威	582	645	362	747	賣方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。

附錄五 107 個樣本國在 2030 年減量至 2020 年 50% 之交易結果

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
阿爾及利亞	3,652	771	2,413	4,835	賣方
安哥拉	591	1,990	268	303	賣方
阿根廷	7,596	2,956	5,451	2,625	買方
亞美尼亞	189	862	89	224	賣方
澳大利亞	13,317	1,813	12,421	7,505	買方
奧地利	2,033	3,952	3,485	525	買方
亞塞拜然	1,078	281	357	3,924	賣方
巴林	1,138	701	983	1,658	賣方
孟加拉共和國	2,559	2,587	89	1,010	賣方
白俄羅斯	1,643	244	1,340	6,878	賣方
比利時	2,818	2,863	4,825	1,005	買方
貝南	123	2,066	0	61	賣方
玻利維亞	619	1,365	447	463	賣方
波紫那	142	2,119	268	68	買方
巴西	15,813	3,554	15,549	4,544	買方
汶萊	563	1,456	447	395	買方
保加利亞	2,710	434	2,055	6,383	賣方
喀麥隆	143	3,933	89	37	買方
加拿大	19,556	2,297	21,804	8,695	買方
智利	3,523	2,057	2,681	1,750	買方
中國	343,241	14,597	136,185	24,019	買方
哥倫比亞	3,913	1,974	2,234	2,025	買方
剛果民主國	260	3,273	0	81	賣方
剛果	109	3,131	89	36	買方
哥斯大黎加	285	3,930	268	74	買方
象牙海岸	342	2,192	0	159	賣方
克羅埃西亞	540	1,260	894	438	買方
捷克共和國	3,376	593	4,468	5,816	賣方
丹麥	1,312	3,688	2,413	363	買方
多明尼加共和國	915	1,476	447	633	賣方
厄瓜多爾	1,244	1,045	894	1,216	賣方
埃及	5,934	1,279	2,234	4,741	賣方
薩爾瓦多	320	3,321	179	98	買方
愛沙尼亞	386	390	536	1,011	賣方
芬蘭	1,395	2,768	2,234	515	買方
法國	10,519	4,600	20,553	2,336	買方
加彭	232	3,170	268	75	買方
德國	22,770	2,863	35,476	8,124	買方
迦納	403	1,126	0	366	賣方
希臘	2,596	2,278	4,289	1,164	買方

附錄五（續）

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
瓜地馬拉	699	3,049	179	234	賣方
海地	112	4,312	0	27	賣方
宏都拉斯	322	2,213	89	149	賣方
匈牙利	1,626	1,081	2,591	1,536	買方
冰島	73	5,230	89	14	買方
印度	110,668	5,301	20,910	21,325	賣方
印尼	22,050	1,713	6,881	13,146	賣方
愛爾蘭	1,222	3,018	1,966	414	買方
以色列	3,416	2,843	3,217	1,227	買方
義大利	12,332	4,071	20,374	3,094	買方
牙買加	578	1,129	268	523	賣方
日本	29,535	5,166	48,969	5,840	買方
約旦	1,013	824	179	1,256	賣方
哈薩克	6,848	290	3,396	24,094	賣方
肯亞	384	2,104	89	187	賣方
南韓	18,248	2,168	16,442	8,596	買方
拉脫維亞	161	1,255	357	131	買方
黎巴嫩	1,743	1,648	626	1,081	賣方
立陶宛	270	1,071	626	258	買方
盧森堡	267	2,558	447	107	買方
馬來西亞	8,213	1,374	7,238	6,106	買方
馬爾他	99	1,825	179	56	買方
墨西哥	19,685	2,348	13,583	8,562	買方
摩爾達維亞	139	253	89	561	賣方
摩洛哥	641	1,512	536	433	買方
莫三比克	88	4,772	0	19	賣方
尼泊爾	184	3,156	0	60	賣方
荷蘭	4,235	3,330	7,417	1,299	買方
紐西蘭	1,048	2,385	1,340	449	買方
尼加拉瓜	266	1,547	89	176	賣方
挪威	1,032	5,984	2,413	176	買方
阿曼	1,342	1,494	1,162	917	買方
巴基斯坦	7,679	1,309	715	5,994	賣方
巴拿馬	181	2,957	447	62	買方
巴拉圭	190	2,696	89	72	買方
秘魯	1,571	2,709	1,340	592	買方
菲律賓	5,141	1,701	2,055	3,087	賣方
波蘭	9,157	637	10,008	14,677	賣方
葡萄牙	1,822	2,663	2,502	699	買方
羅馬尼亞	3,178	519	3,038	6,253	賣方

附錄五（續）

國家	二氧化碳 排放量 <sup>a</sup>	MAC	初始分配之二 氧化碳減量 <sup>a</sup>	均衡減量 <sup>a</sup>	買賣方
俄羅斯聯邦	45,334	361	41,016	128,122	賣方
沙烏地阿拉伯	21,286	1,633	14,834	13,317	買方
塞內加爾	299	1,537	0	199	賣方
新加坡	6,026	2,449	6,970	2,514	買方
斯洛伐克	937	670	1,430	1,428	買方
斯洛維尼亞	448	1,767	715	259	買方
南非	21,235	1,124	10,813	19,289	賣方
西班牙	9,376	2,977	14,298	3,217	買方
斯里蘭卡	563	2,832	536	203	買方
蘇丹	673	2,984	89	230	賣方
瑞典	1,266	6,182	2,949	209	買方
瑞士	1,211	7,696	2,681	161	買方
台灣	18,612	2,879	15,281	6,602	買方
泰國	16,590	1,574	9,115	10,765	賣方
多哥	136	1,634	0	85	賣方
千里達及托巴哥	1,684	558	1,072	3,084	賣方
突尼西亞	1,008	1,396	626	738	賣方
烏克蘭	8,651	26	4,289	344,053	賣方
阿拉伯聯合大公國	5,210	1,318	6,255	4,038	買方
英國	14,762	3,252	23,859	4,637	買方
美國	170,080	3,621	227,600	47,977	買方
烏拉圭	242	5,369	268	46	買方
烏茲別克斯坦	3,089	166	447	19,056	賣方
委內瑞拉	7,762	1,344	4,200	5,897	賣方
越南	5,536	1,260	804	4,488	賣方
尚比亞	99	2,000	0	51	賣方
辛巴威	582	645	447	921	賣方

資料來源：本研究估算。

註 a：單位為萬噸。