

清潔發展機制 (CDM) 對溫室氣體 之減量效果分析*

陳香梅**、陳文典***、游懷萱****

摘 要

近年來，全球氣候變遷問題已嚴重影響人類生活，而世界各國也逐漸意識到已開發國家和開發中國家必須共同合作以解決此問題。京都議定書中的清潔發展機制 (CDM) 即是讓已開發國家與開發中國家共同實踐減量目標的一種彈性減量機制，然而過去文獻對於其減排成效的看法並不一致。有鑒於此，本文以參與 CDM 計畫的 20 個開發中國家和 16 個已開發國家為研究對象，探討 CDM 計畫對其 2003 至 2008 年二氧化碳減量之影響。根據兩階段最小平方法之固定效果模型的實證結果顯示，CDM 計畫能減少開發中國家的二氧化碳排放量，但經認證的排放減量額度 (CERs) 有被過量核發之現象；另一方面，CDM 計畫對已開發國家的減排效果則無影響。

關鍵詞：清潔發展機制、二氧化碳、全球暖化、固定效果模型、工具變數

JEL 分類代號：Q54, Q56

* 作者感謝編輯委員與兩位匿名評審的指正與建議。本文同時亦得到國科會的研究補助 (NSC100-3113-P-004-001)，在此一併致謝。

** 國立政治大學財政學系副教授，本文聯繫作者。電話：(02)29387636，Email：cmchen3@nccu.edu.tw。

*** 東海大學經濟學系教授。

**** 國立政治大學財政研究所碩士。

DOI：10.3966/054696002013120094003

清潔發展機制 (CDM) 對溫室氣體 之減量效果分析

陳香梅、陳文典、游懷萱

壹、前言

在這個科技日新月異的時代，人類利用技術解決了許多問題；然而，工業技術發展的同時，卻也為人類社會製造出了最大的困境。近十多年來，各地氣溫的愈趨極端，乾旱、熱浪、暴風雨等災害的頻傳均反映出全球暖化所造成的氣候變遷現象。政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第四次評估報告更以數據指出，過去 100 年 (1906-2005 年) 來，全球平均溫度上升攝氏 0.74 度；這樣的上升速度不僅是前所未有，而且會逐年惡化；該報告並推測本世紀全球平均溫度將上升攝氏 1.8 至 4 度，海平面上升高度平均為 10 至 20 公分，最嚴重的地區可能上升至 59 公分 (IPCC, 2007)。

全球暖化的起因在於人類從事工業化活動時，不斷地排放溫室氣體所致。由於溫室氣體的排放係屬於全球性的外部性問題；而且溫室氣體大多由已開發國家所產生，聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 第三次締約國大會 (the third Conference of the Parties, COP3) 因此於 1997 年 12 月，正式通過了京都議定書 (Kyoto Protocol)。透過京都議定書，附件一國家 (annex 1 countries)¹

¹ 為聯合國氣候變化綱要公約列於附件一之國家，亦為京都議定書列於附件 B 之國家，包含歐盟與 40 個已開發國家或經濟轉型之國家。

被規範於 2008 年至 2012 年間，六種溫室氣體²排放量必須較 1990 年水準減少 5% 以上。為協助締約國透過國際合作方式，以最小執行成本達成減量目標，京都議定書中並訂有排放交易 (emissions trading, ET)、聯合履行機制 (joint implementation, JI) 和清潔發展機制 (clean development mechanism, CDM) 等三種彈性減量機制，即所謂的「京都機制」。

「排放交易」³允許附件一國家將其自身分配數量單位 (assigned amount units, AAUs) 中未被使用的排放單位，以貿易方式轉讓給另外一個未能完成減排義務的附件一國家。「聯合履行」機制⁴係指由減排成本不同的兩個附件一國家簽約共同合作投資溫室氣體的排放減量計畫；其所產生的溫室氣體減排或吸收量 (emission reduction unit, ERUs) 在「聯合監督委員會 (Joint Implementation Supervisory Committee, JISC)」監督下，進行減排單位核證與轉讓或獲得；惟第一個起算期係 2008 年至 2012 年。換言之，2000 年後啟動的項目，如果被證明合格，可以追認為 JI 項目，但是只能在 2008 年以後才能簽發 ERU。「清潔發展機制」則是三種彈性機制中唯一開發中國家可參與的減量機制；京都議定書第十二條明訂 CDM 的兩大目標為協助非附件一國家之永續發展及協助附件一國家降低其減量成本。在 CDM 機制下，附件一國家投資者資助非附件一國家進行溫室氣體減排計畫，根據排放基線（項目投入前的現實排放）減去項目投入後的實際排放產生「經認證的排放減量額度 (certified emissions reductions, CERs)」。一單位 CER 即代表減少一公噸二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO₂e)⁵ 的排放，獲得的 CERs 可被交易並用來協助附件一國家履行京都議定書的減量義務。CDM 計畫最常見的為雙邊模式 (bilateral project)⁶。

² 六種溫室氣體分別為二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF₆)。

³ 規範於《京都議定書》第十七條。

⁴ 規範於《京都議定書》第六條。

⁵ 二氧化碳當量係一個將不同溫室氣體之全球暖化潛勢予以標準化的計量單位。

⁶ 除了雙邊模式外，另有多邊模式 (multilateral project) 及單邊模式 (unilateral project)。

由於附件一國家具有排放總量的限制，因此排放交易與聯合履行的合作模式屬於零和賽局 (zero-sum game)，溫室氣體的減量潛力有限。許多文獻 (如 Viguiet, 2004; Wara, 2007; Stern, 2007; Schneider, 2008; Hagem and Holtmark, 2009) 均指出全球的減量目標無法只憑藉已開發國家的努力；開發中國家應共同承擔減量責任。CDM 正提供了已開發國家 (附件一國家) 得以資金援助與技術移轉方式來協助開發中國家減少溫室氣體排放的機會；此排放減量便做為已開發國家的減量信用 (credit)。由於開發中國家並無減量責任；因此理論上，CDM 計畫可以使得全球溫室氣體排放減量幅度大於國際協議的目標值。惟事實上，CDM 計畫對全球溫室氣體究竟有無減量效果呢？Hagem and Holtmark (2009) 認為只要在開發中國家不用為溫室氣體的排放負擔碳稅或支付碳價時，期望工業化國家對開發中國家從事新技術的重大轉移是不可能發生的，因為生產成本可能過高；所以 CDM 並非是全球溫室氣體減量的有效工具。

有些文獻係從評估 CDM 計畫是否具有京都議定書所要求的額外性 (additionality)⁷ 來探討 CDM 是否對地主國的溫室氣體排放有實質減量的效果。例如 Schneider (2007) 隨機抽樣三年 93 件已註冊之 CDM 計畫以進行評估，得出許多計畫並沒有滿足額外性的結論。Sutter and Parreño (2007) 則透過多重屬性評估方法 (multi-attributive assessment of CDM, MATA-CDM) 對 16 件 CDM 註冊計畫全面評估，得到這些計畫有極大的可能性是因為具有 CDM 色彩所以才能達到減量。然而，Wara and Victor (2008) 則認為 CDM 信用被過度核發，事實上目前 CDM 市場所核發的減量信用只要 1/20 至 1/40 的比例就足以使 CDM 機制與目前已註冊的計畫並駕齊驅、穩定運作；換言之，約 38,500 萬噸已註冊及核發的排放減量額度是不真實的。Partridge and Gamkhar (2010) 實際以中國 460 件與電力

多邊模式指參與計畫的附件一國家有兩個以上；單邊模式則指非附件一國家自行於國內實施溫室氣體減量計畫，不需附件一國家的合作；而獲得的 CERs 同樣能出售給附件一國家。

⁷ 根據 2001 年馬拉喀什協定 (Marrakesh Accords)，若執行 CDM 計畫產生的人為溫室氣體排放量相較無執行 CDM 計畫為少時，則此 CDM 計畫具有額外性。

相關的 CDM 計畫為研究對象，得到大部分風力與天然氣複循環 (natural gas-combined cycle, NGCC) 發電計畫符合額外性的結論；但許多小型水力發電相關的 CDM 計畫反而造成全球排放量淨增加。Alexew et al. (2010) 以印度的 40 件已註冊 CDM 計畫為研究對象，印證了減量效果需視計畫類型而定。

至於為何 CDM 計畫不具有京都議定書所要求的額外性，也就是為什麼地主國沒有實際減量？Asuka and Takeuchi (2004) 認為歸因於「馬拉喀什協定」所定義的額外性評估準則過於寬鬆，造成執行理事會 (executive board)⁸ 核發出不具額外性的 CERs。Michaelowa and Umamaheswaran (2006) 藉由分析印度 54 件已送出審核的能源效率計畫，驗證了只有少數計畫的額外性評估方法是可信的。

此外，有些文獻係從碳洩漏 (carbon leakage) 方面來解釋 CDM 可能會造成全球溫室氣體不減反增的結果。碳洩漏指的是發生在計畫邊界 (project boundary)⁹ 外，可測量且可歸因於 CDM 計畫所產生的人為溫室氣體之排放量。舉例來說，一個 CDM 計畫以高能源效率燃料取代傳統燃料，可能導致傳統燃料的價格降低，進而促使計畫邊界外的傳統燃料使用量增加，汙染排放量上升。碳洩漏亦可指附件一國家從事溫室氣體減量時，造成非附件一國家的溫室氣體排放量增加的現象 (Li, 2000)。理論上，附件一國家基於對京都議定書減量的承諾會降低對碳密集能源之消費；如此一來，附件一國家對碳密集能源的需求減少會造成碳密集能源的國際價格降低，而有可能造成非附件一國家對碳密集能

⁸ 執行理事會 (executive board) 係根據京都議定書第 12.4 條成立之獨立管理機構，負責監督 CDM 的運作，並由秘書處 (UNFCCC secretariat)、專門小組 (panel) 與工作組 (working group) 協助其履行職責。執行理事會主要的職能為針對 CDM 的模式與程序向 COP/MOP (Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties) 提出建議，批准基線、監測計畫和計畫邊界之新方法學，任命指定經營實體，出版技術報告以廣納大眾對方法學的意見，開發並維護 CDM 的註冊系統，對通過審核的計畫進行註冊，以及發行 CERs 等。

⁹ 計畫邊界是為確定該計畫之溫室氣體淨減少量所訂的一個假想區域。

源的需求增加及溫室氣體排放量的增加。Manne and Richels (1999, 2000) 利用跨期市場均衡模型 MERGE (a model for evaluating the regional and global effects of greenhouse gas reduction policies) 探討碳洩漏的議題，得到碳洩漏的確是有存在的可能性，只是其程度不足以抵銷附件一國家在京都議定書下減量的效果。Böhringer et al. (2003) 利用可計算一般均衡模型 (computable general equilibrium, CGE) 探討德國對印度電力業的投資計畫，其研究結果正好顯示了該計畫雖然減少了印度電力部門的排放量，但卻造成其他部門排放量增加。Glomsrød and Wei (2005) 則透過 35 部門的 CGE 模型分析中國的淨煤計畫是否能降低二氧化碳，結果發現淨煤計畫使原煤價格下降，促進更進一步的原煤消費；導致中國能源使用與二氧化碳排放量上升。Nijkamp et al. (2005) 利用多國可計算一般均衡模型 GTAP-E 來模擬國際氣候改變政策對經濟體系所造成的衝擊，其中亦探討了 CDM 這個氣候改變工具。模型中假設有三：CDM 計畫會引進新技術至地主國而使非附件一國家使用能源商品（石油、天然氣及汽油）時的技術提升 5%、需要來自地主國部分的投資及附件一國家得以從其在地主得投資中取得減量信用 (CERs)。模擬結果顯示有可能因為反彈效果 (rebound effect) 使得某一部門會因為 CDM 的投資而排放更多的二氧化碳。Selvaretnam and Thampanishvong (2010) 則利用理論架構分析 CDM 對於附件一與非附件一國家溫室氣體減量的效果，得出了一個不確定的結果。理由在於 CDM 計畫會使附件一國家在獲得 CERs 後，增加其國內排放量；然而，另一方面非附件一國家之溫室氣體排放量有可能減少；也有可能因為碳洩漏而增加。因此，全球總排放量有可能增加。

簡而言之，目前有關 CDM 溫室氣體減量效果的文獻大都專注在地主國是否會因為工業化國家資助溫室氣體減量計畫而實質降低該國的排放量。除了 Sutter and Parreño (2007) 外，多數的文獻都認為 CDM 計畫並未對地主國帶來實質減量效果，也就是說 CDM 不具有京都議定書所要求的額外性；惟這些文獻均是透過有限件數的已註冊計畫進行評估所得到的結果，並未涉及到全面的實證分析。另外，有些文獻認為附件一國家在其國內的減量行為有可能造成非附件一國家溫室氣體排放量的增加，也就是所謂的碳洩漏。這方面的文獻大都利用多國可計算一般均衡模型如 GTAP 或整合型評估模型如 MERGE

來分析，惟這些模型並未納入附件一國家到非附件一國家投資 CDM 計畫的情境。

因為開發中國家並未受到溫室氣體排放的總量管制，所以要評論 CDM 的有效性需視此計畫項目若沒有 CDM 的投資是否仍會進行？即是否具有額外性？但當額外性評估準則過於寬鬆時，便會造成核發出不具額外性的 CERs。如果 CDM 計畫所獲得之減量信用是過度被核發時，附件一國家不用在其國內從事減量；而其在開發中國家的 CDM 計畫亦並未造成開發中國家排放量的實質減少；此外，碳洩漏的可能性亦會造成開發中國家排放量的增加。目前有關 CDM 計畫對地主國溫室氣體減量效果之文獻主要是透過對部分已註冊計畫案件進行評估。其實從實證研究的角度來看，如果減量信用如實核發時，那麼取得一單位之 CER 表示溫室氣體實際減少排放一單位；然而過量核發時，那麼取得一單位之 CER 所造成溫室氣體的排放減量事實上就不足一單位了。再者，如果 CDM 計畫造成地主國的碳洩漏，那麼取得一單位之 CER 所造成溫室氣體的排放事實上有可能超過一單位。但是目前的相關文獻並未針對這些方面進行實證研究。

另外，CDM 目標之一便是協助附件一國家以較低的減量成本達到其減量承諾。從事 CDM 投資所獲得之 CERs 可用來抵換 (offset) 其在國內的排放；當減量信用過量核發時，則會造成附件一國家利用 CDM 計畫來完全抵換其在國內之溫室氣體排放。而相關的實證文獻並未探討 CDM 對投資國溫室氣體排放的影響。

本文旨在探討附件一國家（已開發國家）資助非附件一國家（開發中國家）進行溫室氣體減量計畫，是否會對非附件一國家的溫室氣體排放有減量效果；同時對附件一國家在其國內溫室氣體排放之抵換程度又是如何。過去 CDM 計畫對溫室氣體減量之影響的文獻主要都是集中在單一開發中國家（中國或印度）為研究對象，而且又僅探討特定類型之 CDM 計畫（電力業、運輸業或能源業）減量效果。因此，基於以往文獻在國家與計畫型態上的侷限性，並且考慮到 CDM 為地主國和投資國共同合作之減量計畫，可能同時對兩者國內之溫室氣體減量都產生影響，本文將以主辦 CDM 計畫的開發中國家和投資 CDM 計畫的已開發國家為研究對象，並包含所有 CDM 項目，探討 CDM 對其國內溫室氣體減量的影響。

全文的架構與內容如下：共計五節，除本節前言外，第貳節介紹 CDM 的發展現況，第參節說明研究設計與模型設定，第肆節為實證研究的結果與分析，最後一節為結論。

貳、CDM 的發展現況

根據 Kossoy and Philippe (2010) 的統計顯示，2009 年的計畫基礎交易市場之交易量為 2.83 億公噸二氧化碳當量，交易金額達 33.7 億美元。其中，清潔發展機制的交易量為 2.11 億公噸二氧化碳當量，交易金額達 26.78 億美元。自 2004 年 11 月巴西與荷蘭合作之垃圾掩埋氣發電計畫 (landfill gas to energy project) 成為全球第一件註冊的 CDM 計畫以來，目前（截至 2011 年 2 月 15 日止）已註冊的計畫件數為 2,813 件，並已有 548,385,733 單位的 CERs 被核發。然而，CERs 的實際需求量為 580,899,631，顯示仍有許多 CERs 待核發，即現有的 CDM 減量計畫尚未能滿足實際的減量需求¹⁰。

一、計畫參與者

目前全球 CDM 計畫的參與者包含 20 個已開發國家和 70 個開發中國家，註冊計畫件數最多的前五大地主國分別為中國、印度、巴西、墨西哥與馬來西亞；雖是如此，但圖 1 顯示 CDM 計畫主要集中於中國和印度兩國，它們的計畫件數分別占了整個市場的 42.92% 與 21.94%。若就核發的 CERs 數量來看，圖 2 顯示前五大地主國分別為中國、印度、南韓、巴西與墨西哥；然其中就約有一半的 CERs 是核發給中國的。印度、南韓及巴西獲得之 CERs 則分別為 16.11%、11.94% 和 9.21%，其餘國家占的比重甚低。

¹⁰ 根據 UNFCCC 網站的統計：<http://cdm.unfccc.int/>（2011/02/15 取得）。

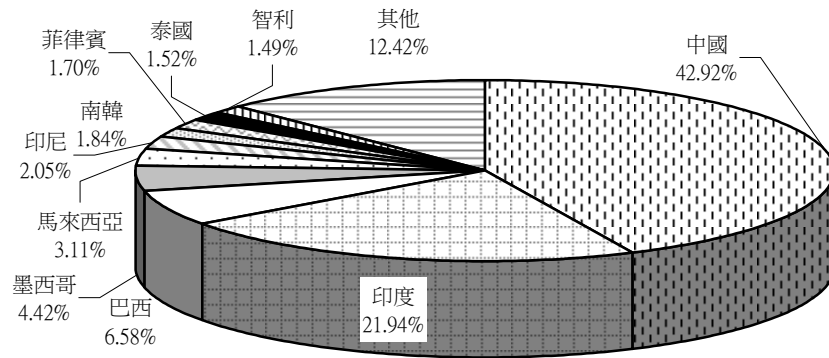


圖 1 前十大地主國 CDM 註冊計畫件數

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，<http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/NumOfRegisteredProjByHostPartiesPieChart.html>（2011/02/15 取得）。

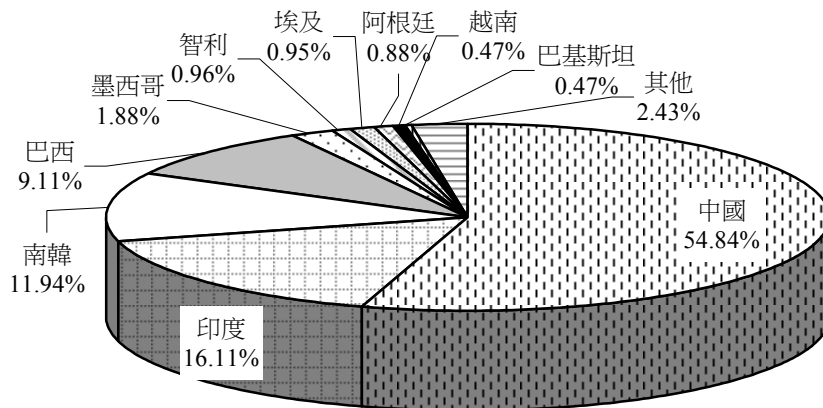


圖 2 前十大地主國 CERs 數量

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，<http://cdm.unfccc.int/Statistics/Issuance/CERsIssuedByHostPartyPieChart.html>（2011/02/15 取得）。

至於投資國的部分，圖 3 顯示出註冊計畫件數最多的前五國為英國、瑞士、日本、荷蘭與瑞典，分別占了 29.03%、19.41%、11.56%、11.10% 和 7.11% 之比重。若是就核發的 CERs 數量來看，則前五大投資國分別為瑞士、英國、日本、荷蘭與法國；如圖 4 所示，前五名所占比重相去不遠，分別為 19.25%、18.13%、11.64%、10.55% 和 7.80%。

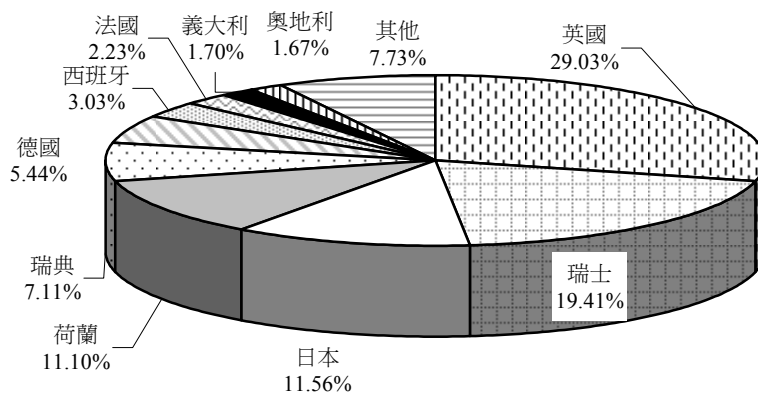


圖 3 前十大投資國 CDM 註冊計畫件數

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，<http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjectAnnex1PartiesPieChart.html> (2011/02/15 取得)。

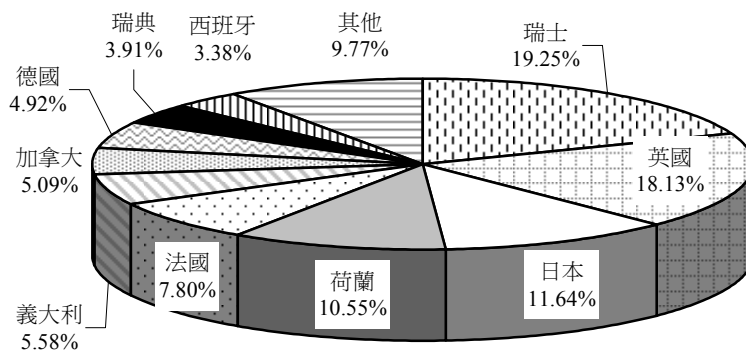


圖 4 前十大投資國 CERs 數量

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，http://cdm.unfccc.int/Issuance/cers_iss.html (2011/02/15 取得)。

二、計畫的規模與類型

另外，在計畫規模方面，目前約有 56% 的計畫屬於大規模，44% 的計畫屬於小規模。小規模計畫為某些符合一定要件的 CDM 計畫，可以較簡化的程序運作；而其他不符合小規模要件的計畫即為大規模計畫¹¹。

計畫類型方面，如表 1 所示，能源業（含再生能源/非再生能源）的計畫占了半數以上，其次為廢棄物處置計畫，占了 15.38%，其他類型的計畫則只有不到 5% 的比重，而能源配置、建築業與溶劑使用的計畫更是尚未出現。

由前述分析可知，不論就註冊計畫件數或是依核發的 CERs 數量看來，中國與印度均為 CDM 市場的前兩大賣家；英國與瑞士均為 CDM 市場的前兩大買家。此外，由圖 5 及圖 6 可看出，中國無論是從 CDM 註冊計畫件數或是核發的 CERs 數量都在逐年遞增。而中國主要合作的附件一國家為英國、荷蘭、日本、瑞士與瑞典等國，其中英國占了 31% 的比重。此外，中國的 CDM 計畫以大規模為主（大規模計畫約有 75%，小規模計畫約有 25%），計畫類型多為能源業¹²。

相對的，印度在 2005 至 2007 年間的 CDM 註冊計畫件數領先他國，但之後註冊計畫件數與 CERs 的成長便逐漸減緩，並居於中國之後（圖 5 及圖 6）。印度的 CDM 計畫中，單邊計畫之比重較其他國家為高，約 49% 的計畫為單邊模式；其餘 51% 的雙邊或多邊計畫則以英國及瑞士為主要合作對象，分別占了 32% 和 30% 之比重。計畫規模多屬小規模（小規模計畫約有 64%，大規模計畫約有 36%），計畫類型同樣以能源業為主¹³。

¹¹ 小規模計畫的要件為最大輸出當量為 15 兆瓦（或適當當量）的可再生能源計畫、使供（需）方每年減少能源消費量最高相當於 15 千兆瓦時的提高能源效率計畫，以及既減少人為排放量且每年直接排放低於 15 千噸二氧化碳當量的其他計畫。

¹² 資料係透過本文整理而得。來源為 UNFCCC 網站，http://cdm.unfccc.int/Issuance/cers_iss.html（2011/02/15 取得）。

¹³ 同註 12。

表 1 註冊計畫結構 (至 2011/2/15 止)

類別	百分比
能源業 (含再生能源/非再生能源)	65.1%
廢棄物處置	15.4%
製造業	4.7%
燃料 (固態、油、氣態) 之逸散性排放	4.6%
農業	4.1%
化工業	2.1%
礦業	1.2%
能源需求	1.1%
鹵化碳及六氟化硫生產與使用造成之逸散性排放	0.7%
造林與再造林	0.6%
金屬製造業	0.2%
運輸業	0.2%
能源配置	0.0%
建築業	0.0%
溶劑使用	0.0%

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，[http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredPr
ojByScopePieChart.html](http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjectsByScopePieChart.html) (2011/02/15 取得)。

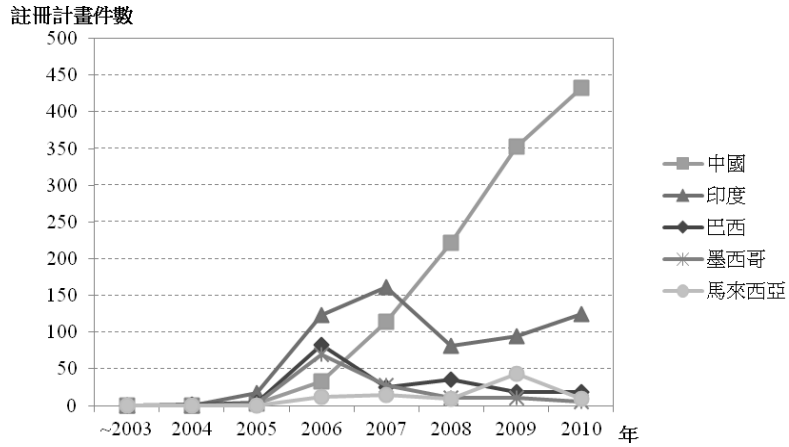


圖 5 前五大地主國註冊計畫成長趨勢

資料來源：整理自 UNFCCC，<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>（2011/2/15 取得）。

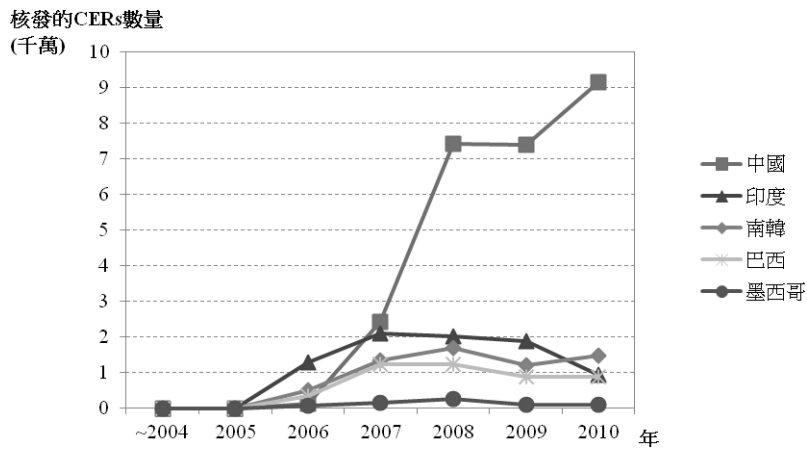


圖 6 前五大地主國 CERs 成長趨勢

資料來源：整理自 UNFCCC 網站，http://cdm.unfccc.int/Issuance/cers_iss.html（2011/02/15 取得）。

事實上，京都議定書於 2005 年 2 月 16 日開始強制生效時，中國政府內部對於 CDM 計畫的活動是否能對地主國有永續發展的正面效益持分歧的看法，因此對參與 CDM 計畫感到興趣缺缺 (Zhuang, 2006)。這種內部意見衝突的現象直到 2006 年末才得以克服 (Qi et al., 2008)。因此自 2007 年後，CDM 的活動就如同雨後春筍般開展起來。至於，為何能迎頭趕上印度而成為全球 CDM 計畫投資中的最大地主國呢？其中最主要的原因可歸諸於中國的 CDM 法規與配套¹⁴是目前最完善的國家 (Shin, 2010)；而且中國清潔發展機制的指定國家主管機構 (Designated National Authority, DNA)¹⁵為負責擬訂經濟和社會發展政策、進行總量平衡、並指導總體經濟體制改革的國家發展與改革委員會（簡稱發改委），與印度的 DNA 係由中央政府組成部門中相對不重要的環境森林部 (Ministry of Environment and Forests)負責是不同的 (Ganapati and Liu, 2008)。

參、研究方法

本文旨在探討 CDM 對主辦 CDM 計畫的開發中國家和投資 CDM 計畫的已開發國家之國內溫室氣體減量的影響。研究範圍包含 20 個開發中國家與 16 個已開發國家，期間為 2003 至 2008 年，資料型態屬結合橫斷面與時間序列的追蹤資料 (panel data)。因此，開發中國家的部分，共計 120 筆觀察資料；已開發國家的部分，共計 96 筆觀察資料。研究對象的 20 個開發中國家選自於 2004 至 2009 年獲得 CERs 數量最多的前 30 名地主國，

¹⁴ 有關 CDM 的法規包括有 2005 年 10 月 12 日制定的《清潔發展機制項目管理辦法》及 2011 年修訂《清潔發展機制項目運行管理辦法》。此外，2006 年中國又成立「中國清潔發展機制基金」與管理中心。

¹⁵ 指定國家主管機構 (DNA) 為 CDM 計畫參與國指定的國內管理單位，主要負責證明計畫參與者的自願參與意願和 CDM 計畫對地主國永續發展的貢獻，簽發地主國批准文件 (letters of approval, LOA) 等。

並除去資料缺漏值過多的 10 個國家而得，包含亞洲國家的中國、印度、南韓、越南、巴基斯坦、泰國、馬來西亞、印尼、以色列與菲律賓；美洲國家的巴西、墨西哥、智利、阿根廷、哥倫比亞、秘魯、古巴與烏拉圭；以及非洲國家的埃及與南非。研究對象的 16 個已開發國家為 2004 至 2009 年有獲得 CERs 的投資國¹⁶，包含歐洲國家的奧地利、比利時、丹麥、芬蘭、法國、德國、義大利、盧森堡、荷蘭、挪威、西班牙、瑞典、瑞士與英國；美洲國家的加拿大；以及亞洲國家的日本。

一、實證模型設定

為了探討 CDM 對全球溫室氣體減量效果之影響，本文分別就 CDM 計畫對非附件一國家（即開發中國家）及附件一國家（即已開發國家）之減量效果是否有所不同來分析。因此，本文的估計模型有二：模型一之研究對象為開發中國家，模型二係以已開發國家為研究對象。根據 F 檢定和 LM 檢定對兩種模型的檢測結果顯示，固定效果模型與隨機效果模型均優於混合迴歸模型，而 Hausman 檢定則進一步得出固定效果模型優於隨機效果模型之結果；檢定結果將詳述於第四節。故本文兩種模型之一般式為：

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=2}^K \alpha_k X_{kit} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 2003, \dots, 2008$$

其中， i 代表國家，模型一之 n 為 20，模型二則為 16； t 代表時間。而 Y_{it} 為被解釋變數； α_i 為個別效果 (individual effect)，不隨時間而變動； α_k 為第 k 個解釋變數之迴歸係數； X_{kit} 為各個解釋變數； ε_{it} 則為誤差項。

¹⁶ 由於 CDM 計畫實行期間與 CERs 被核發之時點相隔至少一年以上，因此 2003 至 2008 年之研究期間應選擇 2004 至 2009 年有獲得 CERs 的投資國為研究對象。

影響各國溫室氣體排放量 (EPC) 的因素，除了本文主要探討之 CDM 計畫的影響外，另加入一些會影響溫室氣體排放的因素，分別為經濟發展 (GDP)、能源效率 (EI)、煤消費量 ($COAL$) 與天然氣消費量 ($NGAS$)；代表 CDM 計畫的變數則為已核發之 $CERs$ 。模型一（開發中國家）之估計模型如下：

$$\ln(EPC_{it}) = \alpha_{1i} + \alpha_2 CER_{i,(t+1)t} + \alpha_3 \ln(GDP_{it}) + \alpha_4 \ln(EI_{it}) + \alpha_5 \ln(COAL_{it}) \\ + \alpha_6 \ln(NGAS_{it}) + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 2003, \dots, 2008$$

模型二（已開發國家）之估計模型如下：

$$\ln(EPC_{it}) = \beta_{1i} + \beta_2 CER_{i,(t+1)t} + \beta_3 \ln(GDP_{it}) + \beta_4 (\ln GDP_{it})^2 + \beta_5 \ln(EI_{it}) \\ + \beta_6 \ln(COAL_{it}) + \beta_7 \ln(NGAS_{it}) + e_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 2003, \dots, 2008$$

由於 CDM 項目開始進行的時間與 CDM 所產生經核證的減排量 ($CERs$) 之最後被核發時間相隔至少一年以上，本文假設相隔一年；因此迴歸估計式將第 $t + 1$ 年的 $CERs$ （以 $CER_{i,(t+1)t}$ 表示）與第 t 年的排放量（即 EPC_{it} ）做對應。然而，本文又考慮到政府會對第 $t + 1$ 年的 $CERs$ 有需求期望，以致於會對第 t 年的排放量 (EPC_{it}) 產生影響；換言之，第 t 年的排放量 (EPC_{it}) 也會影響到第 $t + 1$ 年的 $CERs$ 。基於 $t + 1$ 年為未來尚未發生的事件，但是因為對未來的預期會影響本期的投入量，因此本文在模型中放入了對未來的期望值；利用第 t 年的資訊預測第 $t + 1$ 年的 $CERs$ ($CER_{i,(t+1)t}$)，再以工具變數法解決內生性問題。

此外，煤消費量和天然氣消費量同樣具有內生性問題，因此也採用工具變數進行估計。本文以國內儲蓄總額 (gross domestic savings)、國土面積、外人直接投資和股票交易金額作為 $CERs$ 、煤消費量和天然氣消費量的工具變數，資料取自世界銀行 (World Bank) 之 World Development Indicators (WDI) 資料庫。

二、變數定義與資料來源

雖然本文目的在於探討 CDM 對溫室氣體減量的影響，然而由於在六種被要求減排的溫室氣體中，二氧化碳 (CO₂) 占全球溫室氣體的比重最大，約 73%¹⁷；加上囿於溫室氣體資料的完整性不足，故本文以二氧化碳取代之。且為了去除人口因素對排放量產生之影響，因此被解釋變數為平均每人能源消費產生之二氧化碳排放量 (CO₂ emissions from the consumption of energy per capita)，資料取自美國能源情報署 (U.S. Energy Information Administration, EIA)。而影響各國二氧化碳排放量的解釋變數之計算方式及資料來源如下：

(一) CDM 計畫

代表 CDM 計畫的變數可為計畫件數或是 CERs，但考慮到每件計畫規模大小的不同，因此本文不以 CDM 計畫件數做為解釋變數，而是以平均每人獲得之 CERs 做為影響二氧化碳排放的因素。CERs 的資料來自於 UNFCCC 所公開的各計畫項目已核發之 CERs 數據¹⁸。一般而言，CDM 項目的國外合作方（屬已開發國家）在一開始會先與項目業主（屬開發中國家）簽訂減排量購買協議 (Emission Reduction Purchase Agreement, ERPA)，協議載明了 CDM 所產生的經核證的減排量即 CERs，將由國外合作方購買（曾少軍，2010）。也就是說，CDM 項目的國外合作方之所以提供資金與技術，其目的就是為了取得 CDM 項目的減排量，作為其在母國履行京都議定書的減量義務或在國際碳交易市場中轉手賣掉。然而縱使開發中國家最終未取得 CERs；CERs 簽發的數量其實已代表了 CDM 項目在開發中國家已被核證的減排量。所以，以中國與英國合作的計畫（註

¹⁷ 根據 Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) of World Resources Institute 之統計：
<http://cait.wri.org/>（2011/02/28 取得）。

¹⁸ 資料來源：http://cdm.unfccc.int/Issuance/cers_iss.html（2011/02/28 取得）。

冊案號第 1105 號)獲得了 340,137 單位的 CERs 為例,本文便將中國與英國所獲得之 CERs 數量皆以 340,137 單位計算。

探討 CDM 對溫室氣體減量之影響的實證文獻中,除了 Shimazaki et al. (2000) 的研究對象包含地主國和投資國,其餘文獻的研究對象皆為地主國。由於實證結果有肯定 CDM 的減量效果者 (如 Sutter and Parreño, 2007; Shimazaki et al., 2000),亦有因 CDM 計畫邊境外產生的碳漏損而否定其減量效果者 (如 Amatayakul and Berndes, 2007; Böhringer et al., 2003; Glomsrød and Wei, 2005); 因此難以判斷 CERs 對二氧化碳排放量之預期效果。

(二)經濟發展

追求經濟發展的過程中,由於化石燃料使用的增加,使得溫室氣體排放量大幅成長。探討溫室氣體排放影響因素的相關文獻,亦有不少將經濟發展納入為解釋變數。除了少數如 Tamazian et al. (2009) 同時以平均每人國內生產毛額 (GDP per capita)、工業產值占 GDP 比重與國內研發支出占 GDP 比重為經濟發展變數外,大多數文獻皆以平均每人 GDP 為經濟發展變數 (如李國志與李宗植, 2010; Kaufmann et al., 1998; Dinda et al., 2000; Shi, 2003; Zhang and Wang, 2011)。

另外,由於 Grossman and Krueger (1995) 提出了環境顧志耐曲線 (Environmental Kuznets Curve, EKC)¹⁹的概念,這些文獻便加入了 GDP 的平方項和三次方項為解釋變數,以檢驗經濟發展與環境汙染間是否有非線性關係。其中, Tamazian et al. (2009) 的實證結果支持 EKC 的理論, Zhang and Wang (2011) 則進一步發現環境汙染程度與所得呈現「N

¹⁹環境顧志耐曲線為環境汙染程度與所得呈現「倒 U 型」的曲線,即所得的一次方項與平方項分別對環境汙染有正向及負向影響。也就是在經濟發展初期,隨著國民所得的增加,環境品質逐漸惡化;然而當經濟發展至某一轉折點時,環境品質會隨著產業結構轉型而逐漸改善。

型」的曲線²⁰。然而，Kaufmann et al. (1998) 及 Dinda et al. (2000) 的研究卻得出「正 U 型」的曲線。此外，李國志與李宗植 (2010) 及 Shi (2003) 的研究結果雖為「倒 U 型」的曲線，但轉折點非常高，與現實不符，故其認為經濟發展和環境汙染呈現單調遞增的關係。

由於開發中國家的產業結構尚未轉型，因此模型一的經濟發展變數僅加入 GDP 的一次方項²¹；而預期已開發國家的經濟發展與環境汙染間有非線性關係，因此模型二加入 GDP 的一次方項和平方項。資料取自世界銀行 (World Bank) 之 World Development Indicators (WDI) 資料庫。因前述文獻研究結果不一，故無法預期經濟發展對二氧化碳排放量之影響。

(三)能源密集度

能源密集度 (energy intensity) 被認為和汙染排放有絕對關係 (如 Schipper et al., 2001; Bruvold and Medin, 2003; Bruvold and Larsen, 2004; Lin et al., 2006)。能源密集度愈高，表示產生的汙染排放量就愈多。李國志與李宗植 (2010) 以單位 GDP 產出的能源消費代表能源密集度 (能源強度) 實證分析對其中國二氧化碳排放的影響，得出能源密集度對汙染排放量有正向影響之結果。Iwami (2004) 在探討影響東亞九個國家之 CO₂ 及 SO₂ 排放的因素之研究中，也是得出能源密集度會影響汙染排放之結果。能源密集度通常以在經濟體系中生產價值一元的產品與勞務所需要的能源數量來表示。因此，本文乃採用一單位 GDP 使用的主要能源消費量 (total primary energy consumption per dollar of GDP) 代表能源效率變數，資料取自 EIA，預期能源密集度對二氧化碳排放量有正向影響。

²⁰ 「N 型」的曲線即所得的一次方項、平方項與三次方項分別對環境汙染有正向、負向及正向影響。

²¹ 事實上，本文也有嘗試在開發中國家模型中加入平方項，卻導致認定上的問題 (specification error)，因而放棄。

(四)能源消費

人為的二氧化碳排放量主要來自於化石燃料的燃燒，因此能源消費往往與氣候變遷議題有著密不可分的關係。Tamazian et al. (2009) 及 Iwata et al. (2010) 在探討二氧化碳排放量影響因素的研究中，也以能源消費做為解釋變數，並得出能源消費對二氧化碳排放量會產生正向影響之結果。而 EIA (2010) 的研究報告顯示，全球能源相關的二氧化碳排放量於 2007 年高達 297 億公噸，EIA 並預測其將於 2020 年增長至 338 億公噸，甚至於 2035 年達到 424 億公噸。另外，根據 2008 年的統計數據顯示，在產生二氧化碳的能源中，煤占了 43% 之比重，天然氣占了 20% 之比重 (IEA, 2010)。因此，本文將平均每人煤消費量 (coal consumption per capita) 與平均每人天然氣消費量 (dry natural gas consumption per capita) 做為能源消費變數²²，資料取自 EIA，預期兩者皆對二氧化碳排放量有正向影響。

以下將本研究的被解釋變數與各項解釋變數之定義、資料來源及預期影響彙整如表 2。

²² 事實上，產生二氧化碳的能源中，油也占了 37%之比重；惟在實證的過程中，將平均每人油消費量 (oil consumption per capita) 做為另一能源消費變數時，發現與經濟發展變數呈高度共線性關係。基於 $\ln(\text{oil})$ 和 $\ln(\text{GDP})$ 的皮爾森相關係數為 0.930，所以只好捨棄此一變數。

表 2 變數之定義與資料來源

變數	解釋	資料來源	預期符號
被解釋變數 (dependent variable)			
二氧化碳排放量 (EPC)	能源消費產生之二氧化碳總排 放量/總人口 (公噸)	Energy Information Administration	
解釋變數 (independent variable)			
CDM 計畫(CER)	已核發之 CERs 數量/總人口	UNFCCC	?
經濟發展(GDP)	GDP/總人口 (constant 2000 US\$)	World Bank: World Development Indicators	?
能源密集度(EI)	主要能源消費量/GDP (Btu/Year 2005 US\$)	Energy Information Administration	+
煤消費量(COAL)	煤消費量/總人口 (10 ¹⁵ Btu)	Energy Information Administration	+
天然氣消費量 (NGAS)	天然氣消費量/總人口 (10 ¹⁵ Btu)	Energy Information Administration	+

註：Btu (British thermal unit) 為英熱單位。

肆、研究結果與分析

一、敘述統計分析

各個變數的基本統計量呈現如表 3。首先，由表中可看出，已開發國家的平均每人二氧化碳排放量高於開發中國家許多，與一般認定已開發國家為主要汙染排放源的說法相符。而開發中國家中，平均每人二氧化碳排放量最多與最少者分別為 2008 年的南韓與

2003 年的巴基斯坦；已開發國家則是 2005 年的盧森堡排放最多，2007 年的瑞士排放最少。

至於本文著重探討的 CDM 計畫，開發中國家平均每人每年獲得 0.017 單位的 CERs，相當於減少排放 0.017 公噸之二氧化碳當量；而已開發國家平均每人每年獲得 1.055 單位的 CERs。在 2003 年，各國均未獲得 CERs 之核發，因此其最小值為 0。在最大值的部分，開發中國家落在 2007 年的南韓，已開發國家則落在 2007 年的瑞士。另外，開發中國家的變異係數為 2.911，已開發國家為 2.251，皆高於其他變數之變異係數；顯示各國獲得之 CERs 數量分散程度大，而以開發中國家之情形較為嚴重。

在經濟發展方面，開發中國家的變異程度較已開發國家為高，開發中國家平均每人 GDP 最高者為 2008 年的以色列（22,033.770 美元），最低者為 2003 年的越南（473.416 美元）。而已開發國家則為 2007 年的盧森堡有最高之平均每人 GDP（56,624.730 美元），最小值則為 2003 年的西班牙（15,171.510 美元）。

能源密集度的部分，開發中國家的能源密集度較高。平均而言，開發中國家每創造出一單位 GDP 需使用 15,005.890 Btu 的能源；已開發國家每創造出一單位 GDP 需使用 5,692.957 Btu 的能源。其中，2008 年的以色列和 2004 年的中國分別為開發中國家能源密集度最低與最高的國家；2008 年的丹麥與 2003 年的加拿大則分別為已開發國家中能源密集度最低及最高的國家。

最後，無論是煤消費量或是天然氣消費量，已開發國家均高於開發中國家，但分散程度則為開發中國家較大。開發中國家平均每人消費之煤與天然氣分別為 13,600,000 Btu 及 10,300,000 Btu；已開發國家則分別為 21,400,000 Btu 和 48,800,000 Btu。開發中國家的部分，煤與天然氣消費最多的分別為 2008 年的南非與馬來西亞，消費最少的則分別為 2003 年的烏拉圭和以色列。另外，已開發國家中，煤與天然氣消費最多的國家分別為 2003 年的芬蘭和 2004 年的盧森堡；消費最少的則分別為 2008 年的瑞士與 2006 年的瑞典。

表3 變數的基本統計量

變數	研究範圍	觀察值	平均數	標準差	變異係數	最小值	最大值
二氧化碳排放量 (EPC)	開發中國家	120	3.568	2.985	0.836	0.646 (巴基斯坦)	10.785 (南韓)
	已開發國家	96	11.234	5.038	0.448	5.782 (瑞士)	26.862 (盧森堡)
CDM 計畫 (CER)	開發中國家	120	0.017	0.049	2.911	0	0.348 (南韓)
	已開發國家	96	1.055	2.374	2.251	0	15.778 (瑞士)
經濟發展(GDP)	開發中國家	120	4,660.9	4,915.0	1.055	473.42 (越南)	22,033.8 (以色列)
	已開發國家	96	29,465.8	8,979.0	0.305	15,171.5 (西班牙)	56,624.7 (盧森堡)
能源密集度(EI)	開發中國家	120	15,005.9	6,783.7	0.452	5,516.5 (以色列)	31,026.2 (中國)
	已開發國家	96	5,693.0	2,013.9	0.354	3,085.4 (丹麥)	12,665.0 (加拿大)
煤消費量 (COAL)	開發中國家	120	1.36×10^{-8}	2.17×10^{-8}	1.596	1.51×10^{-11} (烏拉圭)	8.78×10^{-8} (南非)
	已開發國家	96	2.14×10^{-8}	1.36×10^{-8}	0.636	6.80×10^{-10} (瑞士)	4.61×10^{-8} (芬蘭)
天然氣 消費量 (NGAS)	開發中國家	120	1.03×10^{-8}	1.19×10^{-8}	1.155	1.06×10^{-10} (以色列)	4.38×10^{-8} (馬來西亞)
	已開發國家	96	4.88×10^{-8}	3.03×10^{-8}	0.621	3.64×10^{-9} (瑞典)	1.15×10^{-7} (盧森堡)

二、模型檢定

本文的估計模型有二：模型一分析 CDM 計畫對開發中國家之溫室氣體減量效果，模型二分析 CDM 計畫對已開發國家之溫室氣體減量效果。選擇適當模型的檢定結果則呈現如表 4。由檢定結果可看出，模型一（開發中國家）與模型二（已開發國家）皆在 1% 的顯著水準下，拒絕 F 檢定的「混合迴歸模型優於固定效果模型」之虛無假設；在 1% 的顯著水準下，拒絕 LM 檢定的「混合迴歸模型優於隨機效果模型」之虛無假設；在 5% 的顯著水準下，拒絕 Hausman 檢定的「隨機效果模型優於固定效果模型」。

另外，Hausman (1978) 及 Baltagi (2005) 提出設定檢定 (specification test) 用來檢定個別效果是否具有內生性，其虛無假設即是個別效果為外生變數。若檢定結果拒絕了虛無假設，則代表個別效果會受解釋變數之數值大小的影響，係為一內生性變數。由於本文的兩個模型皆在 5% 的顯著水準下拒絕 Hausman 檢定，整體來說，此結果意謂著追蹤模型適合固定效果模型，而且個別效果具有內生性；也就是說，不同國家的二氧化碳排放量之個別差異是受其能源政策、煤或天然氣的使用比例或使用量、或解釋變數的分佈情形而改變。

除此之外，為了確保實證結果的可信度，本文利用 RESET 檢定 (regression specification error test)、異質性 (heteroscedasticity) 檢定與共線性 (collinearity) 檢定來驗證實證模型的設定是否正確。

(一) RESET 檢定

RESET 檢定為 Ramsey (1969) 所提出，用於檢測模型設定是否適當。其虛無假設為「模型設定適當」，若拒絕虛無假設則表示模型設定不適當，可能為遺漏變數或函數形式錯置等原因所導致。由表 4 可看出本研究的 RESET 檢定結果，模型一（開發中國家）及模型二（已開發國家）在 10% 的顯著水準下皆無法拒絕虛無假設，即本文的兩個模型設定適當。

表 4 模型檢定結果

檢定項目		模型一 開發中國家	模型二 已開發國家
F 檢定	F 值	179.080 ***	231.720 ***
LM 檢定	卡方值	280.700 ***	214.370 ***
Hausman 檢定	卡方值	13.690 **	36.210 ***
RESET 檢定	卡方值	1.230	0.480
異質性檢定	卡方值	23581.490 ***	2082.650 ***

資料來源：本研究整理。

註：***、**、*分別代表在 1%、5%、10% 的顯著水準下，拒絕虛無假設。

(二)異質性檢定

若殘差項有異質性 (heteroscedasticity)，則估計式的標準誤會產生偏誤，因此須利用異質性檢定來檢驗殘差項是否具有異質性。由於本研究的兩個模型均為固定效果模型，故使用修正之 Wald 檢定 (modified Wald test) 來進行檢驗。由表 4 可看出修正之 Wald 檢定的結果，模型一（開發中國家）與模型二（已開發國家）皆在 1% 的顯著水準下，拒絕「殘差項不具異質性」之虛無假設，即研究資料具有異質性的問題。因此，本文將使用 White (1980) 提出之穩健標準誤的方式來修正異質性對估計結果所產生之影響，再進行迴歸模型的估計。

(三)共線性檢定

本文利用成對解釋變數間的皮爾森相關係數 (Pearson correlation) 來檢驗迴歸式是否存在共線性 (collinearity) 之問題。若兩解釋變數的相關係數高於 0.8 或低於 -0.8，則表示可能存在高度的共線性。由表 5 可得知，本文兩個模型解釋變數間的相關係數絕對值均小於 0.8，因此沒有共線性之問題。

表 5 皮爾森相關係數

模型一 (開發中國家)	CER	ln(GDP)	ln(EI)	ln(COAL)	ln(NGAS)
CDM 計畫(CER)	1.000				
經濟發展(ln GDP)	0.311	1.000			
能源密集度(ln EI)	-0.100	-0.628	1.000		
煤消費量(ln COAL)	0.265	0.082	0.215	1.000	
天然氣消費量(ln NGAS)	0.258	0.367	0.078	0.163	1.000
模型二 (已開發國家)	CER	ln(GDP)	ln(EI)	ln(COAL)	ln(NGAS)
CDM 計畫(CER)	1.000				
經濟發展(ln GDP)	0.251	1.000			
能源密集度(ln EI)	-0.309	-0.206	1.000		
煤消費量(ln COAL)	-0.481	-0.320	0.394	1.000	
天然氣消費量(ln NGAS)	-0.237	-0.027	0.295	0.325	1.000

資料來源：本研究整理。

根據以上的模型檢定結果，本研究的實證模型並無設定不當和共線性之問題。因此，在透過穩健標準誤修正異質性後，本文所得出的研究結論可謂具有相當的可信度。

三、實證結果

本文以固定效果模型與兩階段最小平方法估計之迴歸結果詳列於表 6、表 7。其中，模型一的觀察對象為開發中國家，模型二的觀察對象為已開發國家。

首先，由表 6 可看出，模型一的 CERs 數量，無論使用固定效果模型或是兩階段最小平方法 (two-stage least squares, 2SLS) 估計，皆對二氧化碳排放量有顯著負向影響，與 Sutter and Parreño (2007) 及 Shimazaki et al. (2000) 的研究結果相符。然而，值得注意的是，從 2SLS 結果中發現當每人獲得一單位之 CER (即相當於一公噸二氧化碳當量)，會使得每人排放量減少 22.64%；由於開發中國家的每人二氧化碳排放量之平均數為 3.568

(詳見表 3)，換算結果相當於每人獲得一單位之 CER，實際上只減少了 0.8078 公噸之二氧化碳排放。此一結果與 Wara and Victor (2008) 的看法是一致的。也就是說，Asuka and Takeuchi (2004) 認為「馬拉喀什協定」所定義的額外性評估準則過於寬鬆，如此將會造成聯合國執行理事會核發出不具額外性 CERs 之懷疑在本文的實證結果中得到證實。

表 6 模型一（開發中國家）之估計結果

被解釋變數：平均每人能源消費產生之二氧化碳排放量 (ln <i>EPC</i>)		
解釋變數	固定效果模型	兩階段最小平方法
CDM 計畫(<i>CER</i>)	-0.2104 *** (0.0641)	-0.2264 ** (0.1102)
經濟發展(ln <i>GDP</i>)	1.0128 *** (0.0489)	0.8339 *** (0.1493)
能源密集度(ln <i>EI</i>)	0.9098 *** (0.1358)	0.7117 *** (0.1821)
煤消費量(ln <i>COAL</i>)	0.0354 (0.0241)	0.0948 (0.2537)
天然氣消費量(ln <i>NGAS</i>)	0.0011 (0.0074)	0.0285 (0.1969)
常數項	-15.0580 *** (1.6927)	-10.0946 *** (3.5720)
樣本數	120	120
F 統計量	416.96 ***	179.08 ***

資料來源：本研究整理。

註：1. 括號內之值為標準誤。

2. 迴歸係數之估計結果皆使用 White (1980) 提出之穩健標準誤修正。

3. ***、**、*分別代表在 1%、5%、10% 的顯著水準下，拒絕估計值為零的虛無假設。

換言之，執行理事會核證的減排量與 CDM 項目執行所在國的實際減排效果並不相

符，CERs 是被過量核發的。故當研究範圍由單一國家或單一 CDM 項目擴大至所有開發中國家的所有 CDM 項目時，雖然研究結果並不如以往文獻否認 CDM 之減排效果（如 Amatayakul and Berndes, 2007; Böhringer et al., 2003; Glomsrød and Wei, 2005），但也證實了 CERs 被過量核發之疑慮。

另一方面，由表 7 的模型二得到 CDM 計畫對資金與技術投資國的二氧化碳排放量無顯著影響。推測其最主要的原因為大部分 CDM 項目的國外參與企業中，只有 26% 為最終用戶，其餘的 74% 為從事貿易的公司（曾少軍，2010）。換言之，大部分的投資方會在歐洲或日本市場上將 CDM 項目的減排量轉手賣掉，因而實際核證的減排量未必用在履行國外合作方的母國之境內減量義務。除此之外，已開發國家除了實行 CDM 計畫之外，同時也進行排放交易 (emissions trading) 和聯合減量 (joint implementation)，並在國內有多項能源相關稅制之管制。根據 Kossy and Philippe (2010) 的統計顯示，2009 年的 CDM 市場交易量僅占整個碳交易市場的 15%，顯示 CDM 計畫並非已開發國家進行減排活動的主要方式。因此，CDM 計畫對其二氧化碳排放量並無顯著影響。

根據表 6，開發中國家的經濟發展變數對二氧化碳有顯著的正向影響，顯示其確實會因為經濟的發展而加重環境污染。然而表 7 卻顯示，已開發國家的經濟發展程度對二氧化碳排放量無顯著影響。推論可能原因為經濟發展對污染排放量的影響效果有二，一方面為國民所得較高之國家，易於大量消費，導致污染排放量增加；另一方面為國民所得較高之國家，其環保意識較高，進而減少污染排放量 (Diekmann and Franzen, 1999)。在這兩種效果同時作用之下，經濟發展對污染排放量的正向及負向影響互相抵消，相當於經濟發展對污染排放量無影響。

至於能源密集度部分；模型一顯示，無論使用固定效果模型或是 2SLS 估計，能源密集度對開發中國家之二氧化碳排放量皆有顯著正向影響，與過去文獻的研究結果一致（如劉錦龍等，2002；李國志與李宗植，2010；Iwami, 2004）。模型二則顯示，能源密集度對已開發國家之二氧化碳排放量並無顯著影響，推測其原因為已開發國家的能源密集度較低，而此現象從本文敘述統計之結果亦可得到驗證。

在能源消費方面，開發中國家的煤消費量和天然氣消費量皆對二氧化碳排放量無顯著影響。已開發國家的部分，使用固定效果模型估計之結果為煤消費量和天然氣消費量皆對二氧化碳排放量有顯著正向影響；但使用 2SLS 估計之結果則是煤消費量對二氧化碳排放量無顯著影響，而天然氣消費量卻是在 10% 的顯著水準下才對二氧化碳排放量有正向影響。已開發國家之固定效果與 2SLS 兩種模型在煤與天然氣消費量上有如此大的結果差異，應該是歸因於 2SLS 模型利用了工具變數法取得估計式來代替原來的內生變數，以確保其與誤差項的正交關係；而由於本文使用 4 個工具變數，數目並不是很多，因此比較容易導致去除掉內生性之後的變數與其它外生變數有比較高的相關，而導致其它外生變數變得比較不容易顯著²³。這可以從煤消費量及能源消費量的標準差均增加看出來，而這也是煤及天然氣消費量變成不顯著的原因之一。

此外，實證結果亦顯示了開發中國家每人的煤消費量和每人天然氣消費量皆對每人二氧化碳排放量無顯著影響。推測其原因為，由表三的基本統計量看出已開發國家的煤平均消費量 (2.14×10^{-8}) 高於開發中國家煤的消費量 (1.36×10^{-8})；然而，已開發國家煤的標準差 (1.36×10^{-8}) 卻小於開發中國家煤的標準差 (2.17×10^{-8})；顯示已開發國家的資料相對於開發中國家更有效率性，而這也可以從變異係數的大小一窺端倪。已開發國家的資料比較具有效率性，這可能就是已開發國家結果容易顯著，而開發中國家不易顯著的原因。同樣的，天然氣消費量結果亦是如此。

²³ 更詳細的說就是，若有一模型為 $y = b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + e$ ， x_1 為內生變數， x_2 為外生變數。雖以工具變數法取得的估計式 \hat{x}_1 來代替原來的 x_1 ；但是因為估計式 \hat{x}_1 是由 x_2 及其它的外生變數線性組合而成，因此 \hat{x}_1 會比 x_1 容易與 x_2 有比較高的相關；如此 \hat{x}_1 係數的變異數會變大，但是其估計才合乎理論上的需要 (Green, 2008)。

表 7 模型二 (已開發國家) 之估計結果

被解釋變數：平均每人能源消費產生之二氧化碳排放量 (ln <i>EPC</i>)		
解釋變數	固定效果模型	兩階段最小平方法
CDM 計畫(<i>CER</i>)	0.0006 (0.0008)	0.0009 (0.0145)
經濟發展(ln <i>GDP</i>)	-3.6651 (3.3282)	-3.3096 (6.1966)
經濟發展[(ln <i>GDP</i>) ²]	0.1798 (0.1652)	0.1623 (0.3222)
能源密集度(ln <i>EI</i>)	0.3305 (0.1969)	0.3374 (0.4825)
煤消費量(ln <i>COAL</i>)	0.1634 *** (0.0514)	0.1633 (0.2522)
天然氣消費量 (ln <i>NGAS</i>)	0.1562 *** (0.0163)	0.1424 * (0.0858)
常數項	23.7645 (16.357)	21.6635 (23.7897)
樣本數	96	96
F 統計量	64.09 ***	231.72 ***

資料來源：本研究整理。

註：同表 6 之註解。

伍、結論與建議

近年來，全球暖化所引起的氣候變遷問題已嚴重影響人類生活；以往歸咎於已開發國家過度排放溫室氣體之減量責任也逐漸分擔給開發中國家。京都議定書中的 CDM 即是讓已開發國家與開發中國家共同實踐減量目標的一種彈性減量機制，其宗旨為協助已開發國家完成京都議定書的減量承諾，並透過已開發國家對開發中國家的資金及技術之

投入，達成開發中國家永續發展的目標。

基於 CDM 以「雙贏」為目的，因此其減排成效備受關注。在過去的文獻當中，儘管研究結果並不一致，但較多數的研究結論顯示 CDM 會使溫室氣體增加。部分學者認為 CDM 的執行理事會在計畫額外性的評估方法和基線的設定上存有缺失，另一部分學者則認為在計畫邊界外有碳洩漏的情形發生；這些原因導致 CDM 地主國之溫室氣體排放量並無實質減少，而執行理事會所核發之 CERs 亦不代表減排之成效。再者，對附件一國家而言，CDM 可以較低的減量成本達到其減量承諾。從事 CDM 投資所獲得之 CERs 可用來抵換 (offset) 其在國內的排放；當減量信用過量核發時，則會造成附件一國家利用 CDM 計畫來完全抵換其在國內之溫室氣體排放。本文旨在探討附件一國家（已開發國家）資助非附件一國家（開發中國家）進行溫室氣體減量計畫，是否會對非附件一國家的溫室氣體排放有減量效果；同時對附件一國家在國內溫室氣體排放之抵換程度又是如何。

本文採 2SLS 之固定效果模型，估計結果顯示 CDM 計畫的確減少了開發中國家的二氧化碳排放量，但 CERs 確實有被過量核發之現象；惟過量核發之現象有可能因為額外性評估準則過於寬鬆，也有可能是因為碳洩漏的問題沒有預期中的嚴重。另一方面，CDM 計畫對已開發國家的減排效果並無影響。此外，開發中國家的二氧化碳排放量還受到經濟發展和能源效率之影響；已開發國家則受到天然氣消費量之影響。

根據本文的研究結果，雖然 CDM 對投資國的減排效果不具影響力，但對 CDM 項目執行所在國的二氧化碳排放有減量效果；整體而言，CDM 計畫對全球溫室氣體的減量具有正面的意義。

台灣目前雖不受國際性減量目標規範，但 2007 年的平均每人二氧化碳排放量已高居全球第 14 位²⁴，為符合哥本哈根協議 (Copenhagen Accord) 中要求非附件一國家建構溫

²⁴ 根據 Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) of World Resources Institute 之統計：
<http://cait.wri.org/> (2011/04/15 取得)。

室氣體之「國家適當減排行動 (national appropriate mitigation actions, NAMAs)」，行政院於 2009 年 4 月 8 日通過「國家節能減碳總計畫」將國家減碳的總目標設定為：全國二氧化碳排放減量於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量。然而，此一減量目標及期程的落實與執行，則有賴「溫室氣體減量法」法案的立法與修訂。因為「溫室氣體減量法」草案中明定日後政府將授權目的事業主管機關，訂定各部門或產業別的溫室氣體核配數量，並建立降低其減量成本的碳權抵換交易制度（即總量管制與排放交易制度）；換言之，一旦「溫室氣體減量法」通過，「總量管制與排放交易制度 (cap and trade)」將是重要的溫室氣體減量管理政策工具。而我國政府於「溫室氣體減量法」草案中指出，將以國際間排放交易制度與 CDM 做為台灣實施減量措施之借鏡。CDM 其實就是一種碳權境外抵換機制；根據本文之研究結果，CDM 確實為地主國帶來了二氧化碳減量的效益；但對投資國沒有影響。

(收件日期為民國 100 年 9 月 15 日，接受日期為民國 101 年 6 月 28 日)

參考文獻

(一)中文部分

李國志與李宗植，2010，「中國二氧化碳排放的區域差異和影響因素研究」，中國人口、資源與環境，20：22-27。

曾少軍，2010，碳減排：中國經驗－基于清潔發展機制的考察，北京：社會科學文獻出版社。

劉錦龍，鄒孟文與劉錦添，2002，「環境管制與空汙排放量：台灣製造業廠商之實證」，

經濟論文叢刊，303：361-382。

(二)英文部分

- Alexeew, J., L. Bergset, K. Meyer, J. Petersen, L. Schneider, and C. Unger, 2010, "An Analysis of the Relationship between the Additionality of CDM Projects and Their Contribution to Sustainable Development," *International Environmental Agreements*, 10: 233-248.
- Amatayakul, W. and G. Berndes, 2007, "Fuel Ethanol Program in Thailand: Energy, Agricultural, and Environmental Trade-offs and Prospects for CO₂ Abatement," *Energy for Sustainable Development*, 11: 51-66.
- Asuka, J. and K. Takeuchi, 2004, "Additionality Reconsidered: Lax Criteria May Not Benefit Developing Countries," *Climate Policy*, 4: 177-192.
- Baltagi, B. H., 2005, *Econometric Analysis of Panel Data*, Chichester, England: John Wiley & Sons, West Sussex.
- Böhringer, C., K. Conrad, and A. Löschel, 2003, "Carbon Taxes and Joint Implementation. An Applied General Equilibrium Analysis for Germany and India," *Environmental and Resource Economics*, 24: 49-76.
- Bruvoll, A. and B. M. Larsen, 2004, "Greenhouse Gas Emissions in Norway: Do Carbon Taxes Work?" *Energy Policy*, 32: 493-505.
- Bruvoll, A. and H. Medin, 2003, "Factors behind the Environmental Kuznets Curve. A Decomposition of the Changes in Air Pollution," *Environmental and Resource Economics*, 24: 27-48.
- Diekmann, A. and A. Franzen, 1999, "The Wealth of Nations and Environmental Concern," *Environment and Behavior*, 31: 540-549.
- Dinda, S., D. Coondoo, and M. Pal, 2000, "Air Quality and Economic Growth: An Empirical Study," *Ecological Economics*, 34: 409-423.
- EIA (U.S. Energy Information Administration), 2010, *International Energy Outlook*,

- Washington, DC: EIA.
- Ganapati, S. and L. Liu, 2008, "The Clean Development Mechanism in China and India: A Comparative Institutional Analysis," *Public Administration and Development*, 28: 351-362.
- Glomsrød, S. and T. Wei, 2005, "Coal Cleaning: A Viable Strategy for Reduced Carbon Emissions and Improved Environment in China?" *Energy Policy*, 33: 525-542.
- Green, W. H., 2008, *Econometric Analysis*, New Jersey: Pearson/Prentice Hall.
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger, 1995, "Economic Growth and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, 110: 353-377.
- Hagem, C. and B. Holtmark, 2009, "Does the Clean Development Mechanism Have a Viable Future?" *Research Department of Statistics Norway, Discussion Papers*, No. 577.
- Hausman, J. A., 1978, "Specification Tests in Econometrics," *Econometrica*, 46: 1251-1271.
- IEA (International Energy Agency), 2010, CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2010—Highlights, OECD/IEA, Paris.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis," Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University, Cambridge.
- Iwami, T., 2004, "Economic Development and/or Environmental Quality: Emissions of CO₂ and SO₂ in East Asia," *Seoul Journal of Economics*, 17: 55-83.
- Iwata, H., K. Okada, and S. Samreth, 2010, "Empirical Study on the Environmental Kuznets Curve for CO₂ in France: The Role of Nuclear Energy," *Energy Policy*, 38: 4057-4063.
- Kaufmann, R. K., B. Davidsdottir, S. Garnham, and P. Pauly, 1998, "The Determinants of Atmospheric SO₂ Concentrations: Reconsidering the Environmental Kuznets Curve," *Ecological Economics*, 25: 209-220.
- Kossov, A. and A. Philippe, 2010, *State and Trends of the Carbon Market*, Washington, DC: World Bank.
- Li, Y., 2000, "The Costs of Implementing the Kyoto Protocol and Its Implications to China," *International Review of Environmental Strategies*, 1: 159-174.
- Lin, S. J., I. J. Lu, and C. Lewis, 2006, "Identifying Key Factors and Strategies for Reducing Industrial CO₂ Emissions from a Non-Kyoto Protocol Member's (Taiwan) Perspective,"

- Energy Policy*, 34: 1499-1507.
- Manne, A. S. and R. G. Richels, 1999, "The Kyoto Protocol: A Cost-effective Strategy for Meeting Environmental Objectives?" *The Energy Journal*, Special Issue: 1-23.
- Manne, A. S. and R. G. Richels, 2000, "International Carbon Agreements, EIS Trade and Leakage," Energy Modeling Forum, Stanford.
- Michaelowa, A. and K. Umamaheswaran, 2006, "Additionality and Sustainable Development Issues Regarding CDM Projects in Energy Efficiency Sector," *HWWA Discussion Paper*, No. 346.
- Nijkamp, P., S. Wang, and H. Kremers, 2005, "Modeling the Impacts of International Climate Change Policies in a CGE Context: The Use of GTAP-E Model," *Economic Modelling*, 22: 955-974.
- Partridge, I. and S. Gamkhar, 2010, "The Role of Offsets in a Post-Kyoto Climate Agreement: The Power Sector in China," *Energy Policy*, 38: 4457-4466.
- Qi, Y., L. Ma, H. Zhang, and H. Li., 2008, "Translating a Global Issue into Local Priority: China's Local Government Response to Climate Change," *The Journal of Environment Development*, 17: 379-400.
- Ramsey, J. B., 1969, "Tests for Specification Errors in Classical Linear Least Squares Regression Analysis," *Journal of the Royal Statistical Society*, 31: 350-371.
- Schipper, L., F. Unander, S. Murtishaw, and M. Ting, 2001, "Indicators of Energy Use and Carbon Emissions: Explaining the Energy Economy Link," *Annual Review of Energy and the Environment*, 26: 49-81.
- Schneider, L., 2007, "Is the CDM Fulfilling Its Environmental and Sustainable Development Objectives? An Evaluation of the CDM and Options for Improvement," Report Prepared for WWF, Öko-Institut, Berlin.
- Schneider, L., 2008, "A Clean Development Mechanism (CDM) with Atmospheric Benefits for a Post-2012 Climate Regime," *Discussion Paper*, Öko-Institut, Berlin.
- Selvaretnam, G. and K. Thampanishvong, 2010, "Future of the Clean Development Mechanism in Tackling Climate Change," *Discussion Paper Series*, No. 0808, School of Economics and Finance, University of St. Andrews.

- Shi, A., 2003, "The Impact of Population Pressure on Global Carbon Dioxide Emissions, 1975-1996: Evidence from Pooled Cross-country Data," *Ecological Economics*, 44: 29-42.
- Shimazaki, Y., A. Akisawa, and T. Kashiwagi, 2000, "A Model Analysis of Clean Development Mechanisms to Reduce both CO₂ and SO₂ Emissions between Japan and China," *Applied Energy*, 66: 311-324.
- Shin, S., 2010, "The Domestic Side of the Clean Development Mechanism: The Case of China," *Environmental Politics*, 19: 237-254.
- Stern, N., 2007, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge: Cambridge University.
- Sutter, C. and J. C. Parreño, 2007, "Does the Current Clean Development Mechanism (CDM) Deliver Its Sustainable Development Claim? An Analysis of Officially Registered CDM Projects," *Climatic Change*, 84: 75-90.
- Tamazian, A., J. P. Chousa, and K. C. Vadlamannati, 2009, "Does Higher Economic and Financial Development Lead to Environmental Degradation: Evidence from BRIC Countries," *Energy Policy*, 37: 246-253.
- Viguier, L. L., 2004, "A Proposal to Increase Developing Country Participation in International Climate Policy," *Environmental Science and Policy*, 7: 195-204.
- Wara, M. W., 2007, "Is the Global Carbon Market Working?" *Nature*, 445: 595-596.
- Wara, M. W. and D. G. Victor, 2008, "A Realistic Policy on International Carbon Offsets," *PESD Working Paper*, No.74.
- White, H., 1980, "A Heteroskedasticity-consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity," *Econometrica*, 48: 817-838.
- Zhang, J. and C. Wang, 2011, "Co-benefits and Additionality of the Clean Development Mechanism: An Empirical Analysis," *Journal of Environmental Economics and Management*, 62: 140-154.
- Zhuang, G., 2006, "Role of China in Global Carbon Market," *China & World Economy*, 14: 93-108.

The Impact of Clean Development Mechanism (CDM) on Greenhouse Gas Emissions Abatement*

Shinemay Chen^{**}, Wen-Den Chen^{***}, and Huai-Hsuan Yu^{****}

Abstract

In recent years, global climate change problem has seriously affected humans' life. There is a consensus that the developed and developing countries have to work together to solve the problem. Clean Development Mechanism (CDM) is one of the flexibility mechanisms defined in the Kyoto Protocol, and it allows the developed countries, in cooperation with developing countries, to fulfill the emission-reduction targets. However, the emissions abatement effects of CDM in the literatures are diverse. Accordingly, this paper uses 20 developed countries and 16 developing countries as an empirical case to examine the impact of CDM on carbon dioxide emissions abatement from 2003 to 2008. According to the fixed effects and two-stage least squares model, CDM projects did reduce the carbon dioxide emissions of developing countries, but the certified emissions reductions (CERs) were excessively issued. On the other hand, CDM projects didn't have an impact on the home countries' emissions of developed partners.

* The authors are indebted to editors and two anonymous referees for their constructive suggestions and insightful comments. The authors are also indebted to the National Science Council, R.O.C., under Grants NSC 100-3113-P004-001 for the financial support.

** Associate Professor, Department of Public Finance, National Chengchi University, Corresponding Author. Tel: +886-2-29387636, Email: cmchen3@nccu.edu.tw.

*** Professor, Department of Economics, Tunghai University.

**** Master, Department of Public Finance, National Chengchi University.

Key Words: Clean Development Mechanism, Carbon Dioxide, Global Warming, Fixed Effects Model, Instrumental Variable

JEL Classification: Q54, Q56