

邊際減量成本曲線對氣候政策的啟示

摘 要

當各國都承諾進行減碳，如何以成本有效的方式解決不斷上升的溫室氣體排放問題成為當前最重要的課題之一。邊際減量成本曲線 (Marginal Abatement Cost Curve, MACC) 常是政策決策者評估氣候政策，預估其成本及效率時所使用的一個工具。政策制定者必須了解 MACC 的優缺點與應用限制，以便做出平衡的決策。

一、前言

氣候變化問題首次成為聯合國大會討論議題始於 1988 年，之後氣候變化問題越發引起國際社會的關注。在世界上許多國家的政策制定者已同意在未來幾年大幅降低碳排放量，藉由協調各方努力以解決不斷上升的溫室氣體排放問題，如何以成本有效的方式進行，便成為當前最重要的課題之一。

國際研究上在尋找節能與減碳最有效益的組合時，普遍的作法是評估現行經濟體系中各項可能的技術與措施之減量潛力與成本投入，邊際減量成本曲線分析(Marginal Abatement Cost Curve, MACC)為常用的方法之一。近年來，MACC 受到決策者的歡迎並在許多國家被廣泛地應用。本文根據 Kesicki(2011)的文章，探討 MACC 的產生方式、優缺點與其應用於政策評估上的限制，以供決策者參考。

二、邊際減量成本曲線概念

邊際減量成本曲線(Marginal Abatement Cost Curve, MACC)是表示某年、某個國家的某部門在不同的碳價格水準上可達成的降低排放量水準，基於完全明確化的基礎情境計算出來的。政策制定者可以很容易地得到與任何給定的總減量對應的邊際減量成本，還可以在專家版的

MACC 中獲得所應該實施之減緩措施的相關資訊。

MACC 概念中包含幾個缺點。一個缺點涉及假設的透明度，為了提高使用 MACC 之決策者的信心和決策的準確度，發布關鍵假設是極為重要的。其次，MACC 代表在單個時間點的減量成本，因此無法捕捉排放路徑的差異，也無法描繪不同時間點的變動。

在大多數情況下，二氧化碳排放量的減少產生一系列其他好處，包括能源安全或健康改善等附帶效益，由於缺乏標準指標且難量化，所以忽略附帶效益可能導致大幅高估邊際減量成本。最後一個缺點涉及到不確定性的表示。茲將 MACC 的優缺點陳列如表 1，再說明專家版與模型版 MACC 的差異。

表1:MACC的優點與缺點

優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> ● 在給定的總減量下，可找出相對應的邊際減量成本 ● 在給定的總成本下，可找出相對應的減量 ● 允許平均減量成本計算 	<ul style="list-style-type: none"> ● 限於單一個時間點 ● 無排碳路徑的陳述 ● 缺乏透明的假設 ● 未納入附帶效益

(一)專家版 MACC

以專家為基礎的方法，有時也被稱為技術成本曲線，是基於投資報酬率用來表達不同的減量項目的經濟可行性的一種方法，每一措施（包括新技術和效率提升）會對應到一 CO₂ 減量潛力。專家版 MACC 可用以檢視在達成減量目標下，各部門節能技術與能源供應技術之可能發展，故可快速提供政府各項技術與措施之減量潛力與投入成本排序，供政府做為後續政策規劃與技術發展的參考。

2006 年麥肯錫(McKinsey&Company)公司與瑞典 Vattenfall 公用事業公司(Swedish utility Vattenfall)合作發展全球溫室氣體減量成本曲線，該計畫期望能提出一套一致性資料庫，建立溫室氣體減量的討論基礎，並呈現出不同部門、區域與處理方式間的相關重要性，進而提供減量成

本的估算基礎(朱證達等，2014)。

專家版 MACC 的主要優點是易於理解，缺點包括某些曲線過於簡化技術成本結構，成本研究也大多只考量現有技術。另一個缺點是基線假設的不一致。表 2 詳列專家版 MACC 的優缺點。

表2: 專家版MACC的優缺點

優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> ● 廣泛的技術細節 ● 考慮到某種技術市場扭曲的可能性 ● 便於了解針對技術所特有的減量曲線 	<ul style="list-style-type: none"> ● 未考量行為因素 ● 未整合減緩措施之間的相互作用 ● 可能有不一致的基準線排放 ● 無法描述跨期間的互動 ● 未確實描述不確定性 ● 在某些情況下，無法累加跨部門的減量曲線 ● 總體經濟反饋並未納入 ● 簡化的技術成本結構

(二)模型版 MACC

模型版的 MACC 又分為自上而下 (Top-down) 與自下而上 (Bottom-up) 2 種模型。在此 2 種模型中，不同碳價會對應到不同碳排放量；或者不同碳排放量會對應到不同的碳價，進而導出減量曲線。模型版的 MACC 與專家版 MACC 最大的不同在於無法顯示負的減量成本，一旦能源系統的模型確定，MACC 即可很快的由模型產生。

自上而下 (Top-down) 的模型，如一般均衡模型 (Computable General Equilibrium)，由整體面來探討能源相關政策影響，考量了錯綜複雜的產業結構、政府支出結構、消費者行為、投資行為以及國際貿易等因素，在代表性個人與產業最適選擇下，決定市場供需均衡。此類模型能夠探討能源政策施行後，對於各產業與整體經濟之衝擊影響。

自下而上 (Bottom-up) 的模型，如國際能源總署 (International Energy Agency) 所推動的 MARKAL/TIMES 模型，模型對技術發展與設定有較細緻的描述，並基於線性規劃運算能源系統發展可能的情境與限制。在滿足能源服務需求量下，以最低成本目標進行能源供需系統規劃。此類工具針對能源別、供需部門、技術與設備項目等有詳盡描述。(朱證達等，

2014)

相較於自上而下(Top-down)的模型，自下而上(Bottom-up)的模型包含更多相關的能源技術細節。

自上而下(Top-down)的模式常被認為高估邊際減量成本，主要是由於使用過去數據估計未來時所產生的誤差；相反的自下而上(Bottom-up)的模式則被認為低估了減量成本，未將反彈效應納入考量。表 3 陳列 2 種模型版 MACC 的優缺點。

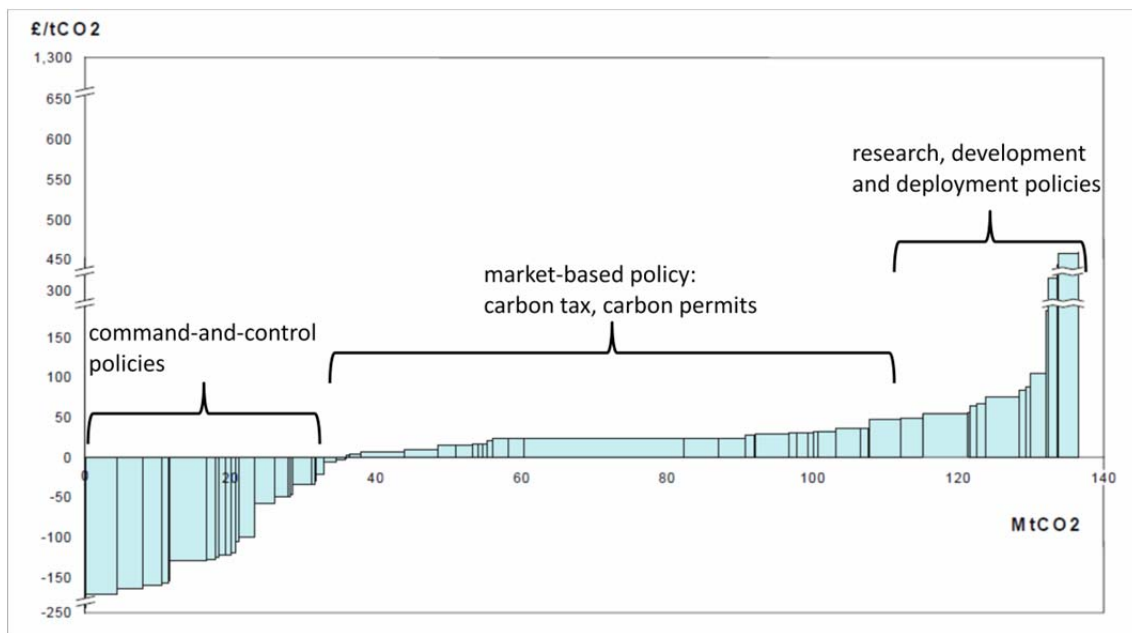
表3:模型版MACC的優缺點

優點	缺點
自下而上 Bottom-Up	
<ul style="list-style-type: none"> ● 模型導入技術的細節 	<ul style="list-style-type: none"> ● 沒有考量到總體經濟的反饋 ● 直接計算能源部門的成本 ● 未反映間接的反彈效應(rebound effect)
自上而下 Top-Down	
<ul style="list-style-type: none"> ● 考量到總體經濟反饋 ● 考量到減緩氣候變遷政策對收入和貿易的影響 	<ul style="list-style-type: none"> ● 模型缺乏技術細節 ● 有些假設可能不符合現實
自下而上 Bottom-Up 與自上而下 Top-Down 的模型	
<ul style="list-style-type: none"> ● 考量措施之間的相互作用 ● 一致的排放基準線 ● 跨期間的互動納入考量 ● 可代表不確定性 ● 可將行為因素納入考量 ● MACC 推導出的時間較短 	<ul style="list-style-type: none"> ● 模型假設理性決策

三、透過 MACC 評估氣候政策

氣候政策工具可區分為以誘因為基礎的市場型政策的和非以誘因為基礎的政策。圖 1 的 MACC 左側部分減量成本非常低，甚至是負的，適合用於行政管制政策；中間部分適合以誘因為基礎的市場型政策，例如碳稅、碳交易。MACC 右側屬於減量成本較高的範圍，適合研發與部署政策，以鼓勵創新發明。以下將陳列氣候政策工具的特點，與 MACC 在各種氣候政策決策上的應用。

圖1:MACC與氣候政策工具



資料來源：Kesicki(2011)。

(一)以誘因為基礎的市場型政策:以誘因為基礎的市場型政策，提供財政的誘因來減少碳排放量之政策工具，例如碳稅(價格工具)與碳排放許可證(數量工具)。此類政策由於涵蓋多個部門，所以用模型版的 MACC 會比用專家版的 MACC 更適合，模型版的 MACC 考慮整個經濟，從而能夠評估對就業、競爭力和經濟結構政策的影響與系統面行為間的互動。

(二)非以誘因為基礎的政策:此類政策包括研發與部署政策與行政管制政策，表 4 討論非以誘因為基礎的政策特點與 MACC 在此類政策上的應用。

表4: 非以誘因為基礎的政策特點與MACC的應用

政策	特點	MACC 在此類政策上的應用
研發與部署政策	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要是為了鼓勵創新和降低當前邊際減量成本較高的技術。 ● 為研究和新技術的開發提供資金。 ● 資助示範項目，如碳捕獲和儲存。 ● 部署策略針對現有的市場技術，以方便進入市場。部署策略可分為價格和數量工 	<ul style="list-style-type: none"> ● 專家版 MACC 列出詳細技術，對此類決策較有幫助。 ● MACC 可以為低碳技術設定出最低或合適的再生能源躉購費率。 ● 專家版的 MACC 可以針對減量措施與其潛力提供資訊。

政策	特點	MACC 在此類政策上的應用
	具。 ● 以價格為基礎的工具包括減少生質燃料稅或訂定再生能源躉購費率。	
行政管制政策	<ul style="list-style-type: none"> ● 行政管制制度是指環境保護的行政體系為環境品質訂定一標準，以及達到此標準所必須遵守的法規。 ● 採用行政管制制度時，其優點是環境品質的目標明確，故確定性較高。 ● 包含技術標準 (technology standard) 與執行標準 (performance standard)，例如： <ul style="list-style-type: none"> ➢ 自願的行業協議； ➢ 限制或禁止使用低效技術的條例； ➢ 建築能源效率規範、燃油效率標準、車輛效率標準、用電器具能源效率標準。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 行政管制在市場失靈時可發揮重要作用。 ● 專家版 MACC 為政策制定者提供最大減量潛力的資訊。

四、結論

MACC 被廣泛應用在氣候政策制定評估，專家版的 MACC 可幫助評估生質燃料補貼價格、技術標準與執行標準的減量潛力與再生能源躉購費率；模型版的 MACC 則較適用於碳稅與碳交易等以誘因為基礎的市場型政策評估。受到政策執行成本，或某些政策限於特定部門等因素影響，MACC 在各項政策工具應用的程度也會受到限制。政策實施的成功與否也取決於相關技術成本的不確定性、投資回收年限與貼現率等因素。透過對 MACC 觀念的檢視，並了解 MACC 推導的方法與其優缺點，政策制定者將針對能源和氣候問題建構更有效的政策工具。

參考文獻

1. Ekins, P., F. Kesicki & A.Z. Smith (2011), *Marginal Abatement Cost Curves: A Call For Caution*, University College, London: UCL Energy Institute, retrieved from <https://www.bartlett.ucl.ac.uk/energy/news/documents/ei-news-290611-macc.pdf>
2. Kesicki, F. (2011), *Marginal Abatement Cost Curves for Policy Making - Model-derived versus Expert-based Curves*, University College, London: UCL Energy Institute, retrieved from http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucft347/Kesicki_MACC.pdf
3. 朱証達、吳振廷、郭瑾璋、洪明龍 (2014), 「整合臺灣能源供需情境模擬之溫室氣體減量成本分析」, 臺灣能源期刊, 第 1 卷第 5 期, 551-573 頁。