

國立政治大學財政研究所碩士論文

指導教授：賴育邦 博士

貿易自由化下最適環境政策



研究生：劉姿妤 撰

中華民國一〇〇年六月

## 謝辭

轉眼間在政大求學已經六年了，終於完成學業準備邁向新的旅途，開心之餘也有些不捨。原本也想瀟灑的寫「要感謝的人太多了，那就謝天吧！」但還是想要向這些生命中的貴人一一道謝，謹以這篇謝辭來表達我對你們的感激之意。

首先要感謝我的指導教授賴育邦老師，老師豐富的學術涵養讓我學習到了許多專業的知識，在寫論文過程中也給了我很多的指導與幫助，而平時咪聽完後的閒聊總是很開心也富有收穫。同時也要感謝蘇建榮老師與歐俊男老師，百忙中還來參與我的論文口試，並給予相當多寶貴的建議，讓我的論文更臻完備。

感謝林其昂主任，擔任您助理的期間讓我學習到很多東西，也謝謝老師這麼多年來的照顧。謝謝張勝文老師，「地方財政專題研究」這堂課讓我學習成長了許多，對我有很大的幫助。當然也要感謝所有政大財政的老師們，你們的教導我都會銘記在心。還要感謝雅靜助教總是不厭其煩的幫忙與關心，也謝謝其他系辦助教們平時給予的協助，在系辦打工的時光總是充斥著歡笑。

謝謝研究所的同學們，這兩年和你們一起度過真的很開心，雖然相處的時間不多，但卻增添了許多美好的回憶。謝謝論文好夥伴于瑩，你的陪伴讓我很安心，論文之路有妳真好。不能少的還有我的好室友欣欣跟打工好夥伴庭芳，認識你們是我研究所生活中最棒的事，上海小畢旅玩得很盡興，這些一起玩樂一起談心的日子我永遠都不會忘記。

還要感謝所有的朋友們，你們讓我的生活變得更豐富有趣，也讓我的研究所生涯不枯燥乏味。謝謝奕涵每天都陪我聊天，分享著我的喜怒哀樂，要是沒有妳這兩年可能會很無聊許多。

當然還要感謝哲民，謝謝你這些年的陪伴，總是想盡辦法幫我解決生活中的大小問題，除了要帶我到處吃喝玩樂之外，還要忍受我躁鬱時的壞脾氣，謝謝你總是在我身旁。還要謝謝你送給我可愛的大史家族，有他們的陪伴讓我的宿舍生活增添許多樂趣。

最重要的，我要感謝一路支持我的父母，有你們的栽培和鼓勵我才能順利的完成學業。還有爺爺、外公、外婆、叔叔、姑姑、舅舅、阿姨等家人，謝謝你們的疼愛與鼓勵。最後將這篇論文獻給我的爸爸，希望你能看到並跟我一起分享這個成果。

劉姿妤 謹誌

于政治大學財政研究所

中華民國一百年七月

## 摘要

許多策略性環境政策的相關文獻，大多在探討生產外部性的問題，較少著墨在消費的外部性，且在模型設定上，大多假設廠商生產同質性商品，因此本文將商品之差異性納入考量，在單邊貿易模型之下，建立一個兩階段賽局，來探討消費外部性的情況下，廠商與政府的策略性行為。而本文亦將貿易政策與環境政策做連結，探討當關稅因貿易自由化而調降時，對環境政策與環境品質的影響為何。

本研究發現：(1) 不論廠商的競爭型態為何，政府會將最適污染稅稅率訂在低於污染所造成的邊際環境損害之水準。(2) 不論廠商的競爭型態為何，貿易自由化會提升最適污染稅稅率。(3) 在廠商進行 Cournot 競爭時，貿易自由化將提升環境品質。(4) 在廠商進行 Bertrand 競爭時，關稅調降與否，須考量商品間的替代程度，在商品替代程度很低時，貿易自由化的結果將使環境品質向下沉淪。

關鍵字：貿易自由化、污染稅、消費外部性

## Abstract

This thesis develops a two-stage game to investigate the strategies of government and firms concerning negative externalities associated with consumption. It also discusses the linkages between trade liberalization and environmental policy, namely, the effect of tariff reduction due to trade liberalization on environmental policy and environmental quality. Most of the literature on strategic environmental policy only considers negative externalities associated with production, but this thesis deals with negative externalities associated with consumption.

Several conclusions emerge: First, the optimal pollution tax is less than the marginal pollution damage. Second, the environmental tax increases as a consequence of a tariff reduction. Third, if firms compete in terms of quantity, environmental quality could be improved by liberalizing trade. Finally, if firms compete in terms of price, when the degree of goods substitutability is low, trade liberalization may lead to a “race to the bottom” in environmental quality.

Keywords: trade liberalization, environmental tax, consumption externality

# 目次

第一章	緒論.....	1
第一節	研究動機與目的.....	1
第二節	研究方法.....	2
第三節	本文架構.....	3
第二章	文獻回顧.....	4
第一節	策略性貿易政策.....	4
第二節	策略性環境政策.....	5
第三節	策略性貿易與環境政策.....	6
第三章	Cournot 競爭下最適環境政策之探討.....	9
第一節	基本模型設定.....	9
第二節	廠商行為.....	11
第三節	政府之策略性行為.....	13
第四節	貿易自由化對環境政策的影響.....	15
第四章	Bertrand 競爭下最適環境政策之探討.....	18
第一節	廠商行為.....	18
第二節	政府之策略性行為.....	20
第三節	貿易自由化對環境政策的影響.....	21
第五章	Cournot 競爭與 Bertrand 競爭之比較.....	24
第六章	結論.....	27
附錄	.....	29
參考文獻	.....	34

## 表次

表 5-1	Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之比較.....	25
表 5-2	貿易自由化對 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之影響.....	26



# 第一章 緒論

## 第一節 研究動機與目的

自從十八世紀工業革命以來，技術的進步促進經濟快速發展，雖然大幅地改善了人類的生活品質，但產量急遽增加的同時，卻也耗用了大量的環境資源、排放了大量的溫室氣體，對自然環境造成不可抹滅的傷害。

然而過去各國政府與廠商皆以追求經濟利益為首要目標，忽略了經濟發展背後對環境資源的耗損。如今溫室效應、臭氧層破洞、南北極冰棚溶解、生物種類銳減等環境問題日趨嚴重，顯示了過去未適當管制污染排放已經對整個自然環境、生態系統造成巨大的衝擊，因此各國政府紛紛轉而關心該如何藉由環境政策工具來矯正污染所產生的外部性，而在課稅、補貼、拍賣污染權、管制等政策工具中，租稅為較常被使用的政策工具之一。因此本文欲探討：政府應如何訂定出最適的污染稅稅率以矯正污染所產生的外部性。

隨著科技的日新月異，全球的財貨與知識皆快速的流通，宣告著地球村的時代已經來臨。Ricardo (1817) 將 Smith (1776) 所提出的絕對利益說 (absolute advantage) 做了更廣闊的延伸，並提出了比較利益說 (comparative advantage)，從此開展了世界貿易的新風潮，貿易自由化 (trade liberalization)<sup>1</sup> 的概念隨之

---

<sup>1</sup> 貿易自由化是指國際貿易制度向自由貿易的方向發展，也就是貿易障礙的降低，本文中將以關稅稅率的降低來代表。



而生，世界性與地區性的貿易組織與自由貿易協定陸續出現，如 1948 年由 23 個國家共同簽署之關稅暨貿易總協定 (General Agreement on Tariffs and Trade, GATT)、1989 年舉行之亞太經濟合作會議 (Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC)、1992 年由美、加、墨三國所簽訂的北美自由貿易協定 (North American Free Trade Agreement, NAFTA) 以及 1995 年世界貿易組織 (World Trade Organization, WTO) 正式成立，都顯示了各國的貿易障礙已逐漸消弭。

然而，貿易自由化雖帶來經濟成長，但在產出擴張的同時也加速了資源的耗竭，更增加了污染的排放，使得環境品質大為惡化。且當政府透過訂定相對寬鬆的環境政策來增加國內廠商競爭力時，又會形成所謂的生態傾銷 (ecological dumping)，<sup>2</sup>進一步導致各國環境品質「向下沉淪」(race to the bottom)。因此本文另一個欲探討的問題為：當某國家的關稅稅率因貿易自由化而調降時，政府該如何制定最適之污染稅稅率，以及該國的環境品質會因關稅稅率的下降造成何種變化。

## 第二節 研究方法

本文將以 Bowley (1924) 的寡占廠商競爭之線性需求函數為基礎，並加以簡化作為主要之模型設定，而貿易架構之設定是採用 Lai (2004) 之單邊貿易模

---

<sup>2</sup> 根據 Rauscher (1994) 的定義，生態傾銷是指政府試圖用較寬鬆的環境政策補貼廠商，使廠商能以較低的產品價格銷售至國外市場，也就是出口國以犧牲環境品質為代價，以換取更多的出口利潤。

型，並同時考慮產品的差異性，且假設產品具有消費外部性。在此模型設定下，分別於 Cournot 及 Bertrand 兩寡占競爭市場中，探討廠商之最適決策、政府之最適環境政策以及貿易自由化對環境政策與環境品質之影響。

本文建構一個兩階段賽局模型，分析 Cournot 及 Bertrand 兩寡占競爭市場下廠商與政府之最適決策：第一階段，由政府極大化社會福利之下，設定最適的污染稅稅率；第二階段，在給定污染稅及關稅稅率之下，由廠商極大化自身利潤下，決定兩寡占競爭下的最適產量。最後則分析比較 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之差異，並探討貿易自由化對最適環境政策及環境品質的影響。

### 第三節 本文架構

本文共分成六章，章節安排如下：第一章為緒論，描述研究動機、目的，以及研究方法。第二章則是回顧策略性貿易與環境政策之相關文獻。第三章為本文模型，首先定義出消費者、廠商及政府之目標函數；隨後進一步探討在 Cournot 競爭下，政府及廠商之決策，以及貿易自由化的影響。第四章延續第三章之設定，改為探討在 Bertrand 競爭下，政府及廠商之決策與貿易自由化的影響。第五章分析比較 Cournot 競爭與 Bertrand 競爭之差異。第六章為全文結論，總結研究結果。

## 第二章 文獻回顧

貿易發展與環境品質一直有著密不可分的關係，當國際貿易蓬勃發展時，全球的污染問題也日益嚴重，所以各國在享受貿易自由化所帶來的好處之時，也應對環境品質的維護盡一份心力。而本文主要探討在寡占競爭市場時，面對產品消費污染時，政府的策略性貿易及環境政策應如何制定，為便於理解與本文相關之文獻，以下將分為三個小節介紹。

### 第一節 策略性貿易政策

Brander (1981) 建立一個雙邊貿易模型，假設兩國各有一家獨占廠商，兩家廠商生產同質商品且同時生產與消費，則兩國如同兩區隔開來的市場，廠商分別在各國的市場中決定最適產量。Brander and Spencer (1984a, 1984b) 利用 Cournot 寡占競爭與雙邊貿易架構，採取兩階段的賽局研究各國關稅對廠商間利潤移轉的影響，第一階段由各國政府決定最適關稅，第二階段為廠商各自決定在本國及外國市場的產量。研究結果顯示：兩廠商在競爭之下，會增加在對方國家的市場佔有率，即使廠商所生產是同質商品，也會使產業內貿易量增加。而最適關稅與需求曲線的曲度有密切的關係，一般情況下應對進口品課徵關稅，但在需求曲線呈現高度凸性時，反而該對進口品進行補貼。

相對於 Brander (1981) 的雙邊貿易模型，Brander and Spencer (1985) 則

提出第三地市場模型，同樣假設兩國各有一獨占廠商且生產同質商品，但兩廠商將所生產的商品全數運往第三國消費，在生產國不做任何消費，則市場由此兩家廠商形成 Cournot 雙占數量競爭。模型由兩階段賽局組成：在第一階段，政府決定出口財貨的補貼水準；第二階段，本國及外國廠商在第三國同時決定產量。研究結果顯示：就本國而言，出口補貼為相當具有吸引力的政策工具，因出口補貼會降低本國廠商的邊際成本，使本國廠商在競爭時較有優勢，可使利潤增加進而提升本國福利。

## 第二節 策略性環境政策

Conrad (1993) 建構一個國際性的寡占競爭模型，探討在 Cournot 寡占競爭市場下，當廠商在生產過程中會排放跨國性污染時，政府的最適環境政策應如何制定。作者認為，在非合作的環境政策之下，兩國政府皆有誘因將最適污染稅稅率訂得較邊際污染損害低，導致全球總污染量增加，進而使環境品質惡化。

Conrad (1996) 延續 Conrad (1993) 的模型，研究當廠商競爭模式改為 Bertrand 競爭時，政府應如何制定最適環境政策。研究結果顯示：若兩國廠商所生產的商品全數銷往第三國，在生產國內均無消費，則政府會將最適污染稅稅率訂得較邊際污染損害高。

Kennedy (1994) 透過雙邊貿易模型，主張當污染會產生跨國性外溢且各國政府缺乏環境政策協定時，貿易自由化的利益很難完全實現，因為在不完全競爭

的市場下，各國政府會因為追補效果 (rent capture effect) 以及污染移轉效果 (pollution-shifting effect) 而進行策略性互動，導致污染稅稅率受到不效率的扭曲。除了在完全競爭市場且無污染外溢效果的特別情況下，這兩種效果才會完全抵銷，使均衡解達成效率。否則在一般情況下，各國政府在 Nash 均衡下所訂定之最適污染稅稅率將會低於全球最有效率下的最適污染稅稅率。

Barrett (1994) 採第三地市場模型，並假設政府以管制污染排放量做為政策工具。在兩國廠商進行 Cournot 競爭時，本國政府有誘因將策略性最適排放標準 (strategically optimal emission standards, SOSs) 訂得比環境最適排放標準 (environmental optimal emission standards, EOSs) 還低，以增加本國廠商之競爭力，而此時污染所產生的邊際損害會高於污染減量的邊際成本。作者認為環境政策比產量政策更能促進產業的競爭性，但當本國的廠商數量增加後，政府的策略性排放標準會提高，甚至會高於環境最適排放標準。而當廠商進行 Bertrand 競爭時，兩國政府均會將策略性排放標準訂得比環境最適排放標準嚴格，此時污染所產生的邊際損害會低於污染減量的邊際成本。政府可藉由較嚴格的環境標準來提高本國廠商的價格，進而增加廠商的利潤。

### 第三節 策略性貿易與環境政策

Tanguay (2001) 以雙邊貿易模型為基礎，加上跨國污染和運費、資訊等其他成本，透過一個兩階段賽局，探討在貿易自由化之下，當兩國政府運用污染稅

及進口關稅做為策略性互動工具時，對社會福利的影響。作者發現僅使用污染稅一項政策工具時，不能同時矯正污染與非完全競爭所造成的扭曲，此時貿易自由化將降低社會福利。且在極大化全球福利的考量下，兩國政府應採取環境稅與關稅皆合作的政策。

Lai (2004) 文中建構一個兩階段賽局：第一階段，由政府極大化社會福利之下，設定最適的污染稅稅率；第二階段，由廠商在給定污染稅及關稅稅率之下，分別決定最適產量以極大化本身利潤。並假設兩國各有一獨占廠商，兩廠商生產同質商品，並同時於本國市場消費，在外國不做任何消費，且商品會藉由消費而產生污染。研究結果顯示：政府會將最適污染稅訂得較邊際環境損害還低，且關稅的下降會降低環境損害，使環境品質上升，這是因為在關稅下降的同時會帶動污染稅的上升，污染稅上升的連鎖效果會大於關稅下降的直接效果，最後使環境損害降低。

由策略性環境政策的相關文獻，可知政府的環境政策會隨著廠商競爭型態的不同而改變。當廠商進行 Cournot 競爭時，政府傾向將環境政策訂得較最適水準寬鬆，用以降低本國廠商之生產成本來提升本國廠商的競爭力；當廠商進行 Bertrand 競爭時，政府傾向將環境政策訂得較嚴格，藉由提高商品的售價來增加本國廠商的利潤。

而傳統的策略性環境政策的文獻，大多都以 Brander (1981) 的雙邊貿易模

型或 Brander and Spencer (1985) 的第三地市場模型為貿易架構，而本文將延續 Lai (2004) 的設定，以單邊貿易模型與消費外部性為基礎，並建構一個兩階段賽局進行分析，不同的是加入了產品差異性作為考量，以探討廠商與政府的策略性行為。而關稅亦會對產品的消費造成影響，本文亦探討關稅因貿易自由化的調降而對政府環境政策與環境品質的影響。



### 第三章 Cournot 競爭下最適環境政策之探討

本研究之目的在於探討 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之下，政府的環境政策應如何制定，以及貿易自由化所造成的影響，並分析比較兩寡占競爭模型之間的差異。文中將以 Bowley (1924) 的寡占廠商競爭之線性需求函數為基礎，結合 Lai (2004) 之單邊貿易架構，分別探討 Cournot 及 Bertrand 兩寡占競爭市場下，廠商之最適決策、政府之最適污染稅稅率以及貿易自由化對最適決策及環境品質造成的影響。

#### 第一節 基本模型設定

首先假設此一經濟體系內有兩個國家，分別為本國及外國，兩國境內各存在一家代表性的廠商，即本國廠商與外國廠商，兩廠商生產異質性商品，並同時於本國市場中銷售，生產數量分別為  $q$  與  $q^*$ 。在本模型中，除了產品銷量之外，其餘所有變數均設定為對稱，其差別在於外國的變數將加註星號「\*」作為區隔。

每一單位商品的消費伴隨著一單位的污染排放，並造成  $\theta$  單位的環境污染損害，政府為了維護環境品質，依污染排放量對廠商課徵污染稅。<sup>3</sup>此外，為了保護國內廠商的競爭力，政府對進口商品加徵關稅。

---

<sup>3</sup> 在封閉的經濟體系中，生產量等同於消費量，則對廠商課稅的效果如同對消費者課稅，而政府應對產生污染的消費者課稅，為使分析方便，本文以對廠商課稅取代。政府是對造成污染的商品課徵污染稅，對本國商品及外國商品並無差別，在此時，課徵污染稅就等同於消費稅。



我們假設本國消費者皆是相同的，並將本國人數標準化為 1。同時加入一計價財 (numeraire good)，代表所有其他財貨且將其價格標準化為 1。則此代表性消費者的效用來自於所消費的財貨，包括  $q$ 、 $q^*$  與計價財  $m$ ，並扣除消費商品所造成的污染損害，則其效用函數為：

$$U = U(q, q^*, m)$$

採用 Bowley (1924) 的二次效用函數，<sup>4</sup>可得：

$$U = a(q + q^*) - \frac{1}{2}(q^2 + 2\gamma qq^* + q^{*2}) + m - \theta(q + q^*), \quad a > 0 \quad (3.1)$$

其中  $\gamma$  為兩商品之間替代程度之參數，且介於 0 和 1 之間；若  $\gamma = 0$ ，代表兩商品為完全異質之財貨，彼此相互獨立；若  $\gamma = 1$ ，則代表兩商品間無任何差異，為完全替代之齊質財貨。此效用函數為可分離 (separable) 之型式，使寡占競爭廠商生產之財貨沒有所得效果，以便之後進行部分均衡分析。在此我們假設  $\theta < a$ ，表示消費者消費一單位財貨時，其邊際效用大於邊際成本。

對  $u(q, q^*)$  求解消費者效用極大化之一階條件，可得消費者對本國商品之反需求函數為：

$$p = a - (q + \gamma q^*) \quad (3.2)$$

---

<sup>4</sup> Bowley (1924) 的二次效用函數為  $u = a(q + q^*) - b(q^2 + 2\gamma qq^* + q^{*2})/2$ ，為使分析方便，我們令  $b = 1$ ，則  $u = a(q + q^*) - (q^2 + 2\gamma qq^* + q^{*2})/2$ 。

而消費者對外國商品之反需求函數為：

$$p^* = a - (\gamma q + q^*) \quad (3.3)$$

其中  $p$ 、 $p^*$  分別為  $q$ 、 $q^*$  之價格。

本文為兩階段賽局模型：第一階段，由政府極大化社會福利之下，設定最適的污染稅稅率；第二階段，由廠商極大化利潤之下，分別求出 Cournot 競爭與 Bertrand 競爭之下的最適產量。為求解得子賽局完全均衡，將以回溯法 (backward induction) 逐步反求各階段之最適產量與污染稅稅率。

## 第二節 廠商行為

本文設定兩廠商對稱且生產異質性商品，僅於本國市場銷售，在外國市場不做任何消費。為了簡化分析，本文假設廠商之生產成本函數不存在固定成本，且邊際成本為一固定常數，並在不失一般性下進一步假設為零。<sup>5</sup>在給定關稅 ( $\tau$ ) 與污染稅 ( $t$ ) 之下，本國廠商之利潤為：

$$\pi = (p - t)q \quad (3.4)$$

即在市場中銷售之獲利，扣除其生產成本及污染稅。

---

<sup>5</sup> 若廠商邊際成本為  $k$ ，則僅需將  $a$  以  $a - k$  帶入即可，也就是說，本文之價格為扣除邊際成本後之淨價格。

將 (3.2) 式之反需求函數帶入本國廠商之利潤函數中，並對本國生產數量

求解一階條件：

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = a - 2q - \gamma q^* - t = 0 \quad (3.5)$$

同理，外國廠商之利潤函數為：

$$\pi^* = (p^* - t - \tau)q^* \quad (3.6)$$

其一階條件為：<sup>6</sup>

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial q^*} = a - \gamma q - 2q^* - t - \tau = 0 \quad (3.7)$$

聯立求解 (3.5)、(3.7) 二式，可得 Cournot-Nash 均衡下，<sup>7</sup>廠商之最適產  
量為：

$$q_c = \frac{(2 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{4 - \gamma^2} \quad (3.8a)$$

$$q_c^* = \frac{(2 - \gamma)(a - t) - 2\tau}{4 - \gamma^2} \quad (3.8b)$$

而廠商利潤函數的二階偏微分需符合下列穩定條件：

$$\pi_{qq}\pi_{q^*q^*} - \pi_{qq^*}\pi_{q^*q} = (-2)(-2) - (-\gamma)(-\gamma) = 4 - \gamma^2 > 0 \quad (3.9)$$

由此穩定條件的滿足，我們可得知此廠商之最適產量為穩定的 Cournot-Nash 均  
衡。

---

<sup>6</sup>  $\pi_{qq} = \pi_{q^*q^*} = -2 < 0$ ，滿足廠商利潤極大化之二階條件。

<sup>7</sup> 文中以下標  $c$  來表示 Cournot-Nash 最適均衡。

針對廠商之最適均衡產量，我們可進行比較靜態分析：

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} = \frac{\partial q_c^*}{\partial t} = \frac{-1}{2 + \gamma} < 0 \quad (3.10a)$$

$$\frac{\partial q_c}{\partial \tau} = \frac{\gamma}{4 - \gamma^2} > 0 \quad (3.10b)$$

$$\frac{\partial q_c^*}{\partial \tau} = \frac{-2}{4 - \gamma^2} < 0 \quad (3.10c)$$

由 (3.10a)、(3.10b)、(3.10c) 三式，我們得知當污染稅降低，廠商之生產成本下降、最適產量就會提高，且對本國廠商及外國廠商的影響程度相同。當關稅調降時，外國廠商之生產成本降低、產量提高，此時競爭力上升，本國廠商之產量降低，但降低幅度較外國廠商增加之幅度小。

### 第三節 政府之策略性行為

在本模型中，假設在消費商品的過程中會排放污染，並造成  $\theta$  單位的環境污染損害，同時為了維持本國廠商競爭力以及環境的保護，並兼顧消費者福利，政府將在極大化社會福利的考量之下，分別對污染排放與進口財貨課徵污染稅與關稅。

根據上述設定，我們可將社會福利定義為：消費者剩餘，加上本國廠商之利潤，再加上政府課徵污染稅及關稅之稅收收入，再扣除消費商品所產生的環境損害。則社會福利函數為：

$$W = u(q, q^*) - pq - p^*q^* + \pi + t(q + q^*) + \tau q^* - \theta(q + q^*)$$

將 (3.1) 式帶入化簡後，可得：

$$W = a(q + q^*) - \frac{1}{2}(q^2 + 2\gamma qq^* + q^{*2}) + m - (p^* - t - \tau)q^* - \theta(q + q^*) \quad (3.11)$$

政府為求社會福利極大化，在給定關稅之下，訂定最適之污染稅稅率。對

(3.11) 式求解一階條件：<sup>8</sup>

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} = & \underbrace{\frac{(1 + \gamma)[-2(a - t) + \tau]}{(2 + \gamma)^2}}_{\Delta \text{消費者剩餘}} + \underbrace{\frac{-2[(2 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau]}{(2 + \gamma)^2(2 - \gamma)}}_{\Delta \text{本國廠商利潤}} \\ & + \underbrace{\frac{2(a - t) - 2t - \tau}{2 + \gamma}}_{\Delta \text{污染稅收入}} + \underbrace{\frac{-\tau}{2 + \gamma}}_{\Delta \text{關稅收入}} + \underbrace{\frac{2\theta}{2 + \gamma}}_{\Delta \text{環境損害}} = 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

由 (3.12) 式可知：污染稅上升會使消費量下降，進而降低消費者剩餘、廠商利潤與關稅收入，導致社會福利降低；此時污染量下降使社會福利增加；而污染稅稅收的變動方向不明確，當污染稅很低時，污染稅上升會使污染稅稅收增加進而增加社會福利。

由社會福利極大化之一階條件，經整理後可求解出最適污染稅稅率為：

$$t_c = \theta + \frac{\gamma - 3}{2(2 - \gamma)}\tau \quad (3.13)$$

由上式可知，最適污染稅稅率必定低於邊際環境損害，而污染稅與邊際環境損害之差距則因商品替代程度不同而有所不同。為了解商品替代程度對最適污染

<sup>8</sup> 詳細之數學推導請參考附錄第一部分。

稅稅率之影響，我們對最適污染稅稅率以替代程度進行偏微分：

$$\frac{\partial t_c}{\partial \gamma} = \frac{-\tau}{2(2-\gamma)^2} < 0 \quad (3.14)$$

由 (3.14) 式，我們得知當商品替代程度上升時，會使最適污染稅稅率下降。

這是因為在商品替代程度較高時，政府為保護本國廠商，會採取降低污染稅的政策，使本國廠商較有競爭力。在商品替代程度較低時，消費者對於進口商品的需求較高，政府會採取提高污染稅的政策，使稅收增加來提升社會福利。

**命題 1.** 在 Cournot 競爭下，政府會將污染稅訂在低於污染所造成的邊際環境損害之水準，且稅率會隨著商品間替代程度的增加而下降。

#### 第四節 貿易自由化對環境政策的影響

在本節我們主要將探討貿易自由化對環境政策及環境品質所造成的影響。貿易自由化是指國際貿易制度向自由貿易的方向發展，也就是貿易障礙的降低，本文中將以關稅稅率降低來代表。

為了解貿易自由化對最適污染稅稅率的影響，我們將 (3.13) 式之最適污染稅對關稅稅率做偏微分：

$$\frac{\partial t_c}{\partial \tau} = \frac{\gamma - 3}{2(2-\gamma)} < 0 \quad (3.15)$$

由上式，我們得知關稅與污染稅稅率呈反向變動關係，當關稅上升時，最適污染稅稅率會下降；反之，當關稅下降時，最適污染稅稅率會上升。這是因為在

給定某一關稅稅率的情況下，政府提高污染稅稅率會使進口商品的消費量下降，進而降低關稅收入，因此在關稅稅率較低時，提高污染稅稅率所造成的關稅收入損失會較低，此時政府較有誘因去提高污染稅稅率，而造成污染稅與關稅之間存在著抵換 (trade-off) 關係。在隨著貿易自由化而將關稅調降至零的情況下，政府會將污染稅訂在等於污染所造成的邊際環境損害之水準。

**命題 2.** 在 Cournot 競爭下，貿易自由化使最適污染稅稅率上升，當關稅稅率調降為零時，污染稅稅率等於邊際環境損害之水準。

接下來我們要探討貿易自由化對環境損害的影響，將環境損害對關稅稅率做微分：

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta(q_c + q_c^*)}{d\tau} &= \frac{\partial\theta(q_c + q_c^*)}{\partial\tau} + \frac{\partial\theta(q_c + q_c^*)}{\partial t} \frac{dt}{d\tau} \\
 &= \frac{(\gamma - 2)\theta}{4 - \gamma^2} + \frac{2(\gamma - 2)\theta}{4 - \gamma^2} \frac{\gamma - 3}{2(2 - \gamma)} \\
 &= \frac{\theta}{4 - \gamma^2} > 0
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

貿易自由化會對環境損害產生兩個效果：直接效果 (direct effect) 與連鎖效果 (linkage effect)；(3.16) 右式第一項為直接效果，是指關稅變動對環境損害的影響，為負值，因為關稅調降會使進口商品消費量增加，進而使環境損害增加；而 (3.16) 右式第二項為連鎖效果，是指關稅變動經由環境稅的改變，而對環境損害造成的影響，為正值，因為關稅調降使污染稅上升，導致本國商品與外國商品消費量皆下降，進而使環境品質提升。在此情況下，連鎖效果大於直接效果，

關稅調降會使總消費量下降，進而使環境品質提升。

命題 3. 在 Cournot 競爭下，貿易自由化使總消費量下降，進而使環境品質提升。





## 第四章 Bertrand 競爭下最適環境政策之探討

延續上一章的設定，本章欲探討在 Bertrand 競爭下，廠商之最適產量、政府的最適環境政策，以及貿易自由化對環境政策的影響以及對環境品質帶來之衝擊。

### 第一節 廠商行為

由 (3.2)、(3.3) 二式，我們分別得到消費者對本國商品及外國商品的需求函數：

$$q = \frac{(1-\gamma)a - p + \gamma p^*}{1-\gamma^2} \quad (4.1)$$

$$q^* = \frac{(1-\gamma)a - p^* + \gamma p}{1-\gamma^2} \quad (4.2)$$

將 (4.1) 式之需求函數代入 (3.4) 式之廠商利潤函數後，對本國商品價格求解一階條件：

$$\frac{\partial \pi}{\partial p} = \frac{(1-\gamma)a - 2p + \gamma p^* + t}{1-\gamma^2} = 0 \quad (4.3)$$

同理，外國廠商之一階條件為：<sup>9</sup>

$$\frac{\partial \pi}{\partial p^*} = \frac{(1-\gamma)a - 2p^* + \gamma p + t + \tau}{1-\gamma^2} = 0 \quad (4.4)$$

<sup>9</sup>  $\pi_{pp} = \pi_{p^*p^*} = -2 < 0$ ，滿足廠商利潤極大化之二階條件。

聯立求解 (4.3)、(4.4) 二式，可得 Bertrand-Nash 均衡下，<sup>10</sup>廠商之最適

價格為：

$$p_b = \frac{(2 + \gamma)[(1 - \gamma)a + t] + \gamma\tau}{4 - \gamma^2} \quad (4.5a)$$

$$p_b^* = \frac{(2 + \gamma)[(1 - \gamma)a + t] + 2\tau}{4 - \gamma^2} \quad (4.5b)$$

將 (4.5a)、(4.5b) 二式代入需求函數 (4.1)、(4.2) 二式之後，可得到

Bertrand-Nash 均衡下，廠商之最適產量為：

$$q_b = \frac{(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} \quad (4.6a)$$

$$q_b^* = \frac{(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + (\gamma^2 - 2)\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} \quad (4.6b)$$

針對廠商之最適均衡產量，我們可進行比較靜態分析：

$$\frac{\partial q_b}{\partial t} = \frac{\partial q_b^*}{\partial t} = \frac{-1}{(1 + \gamma)(2 - \gamma)} < 0 \quad (4.7a)$$

$$\frac{\partial q_b}{\partial \tau} = \frac{\gamma}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} > 0 \quad (4.7b)$$

$$\frac{\partial q_b^*}{\partial \tau} = \frac{\gamma^2 - 2}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} < 0 \quad (4.7c)$$

由 (4.7a)、(4.7b)、(4.7c) 三式，我們得知當污染稅降低時，廠商之生產成本下降，最適產量就會提高，且對本國廠商及外國廠商的影響程度相同。當關稅調降時，外國廠商之生產成本降低、產量提高，此時競爭力上升，本國廠商之產量降低，且降低幅度較外國廠商增加之幅度大。

<sup>10</sup> 文中以下標 *b* 來表示 Bertrand-Nash 最適均衡。

## 第二節 政府之策略性行為

政府為求社會福利極大化，在給定關稅之下，訂定最適之污染稅稅率。對

(3.11) 式之社會福利函數求解一階條件：<sup>11</sup>

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} = & \underbrace{\frac{-2(a-t) + \tau}{(1+\gamma)(\gamma-2)^2}}_{\Delta \text{消費者剩餘}} + \underbrace{\frac{2(\gamma+2)(1-\gamma)(a-t) + 2\gamma\tau}{(1+\gamma)(\gamma-2)(4-\gamma^2)}}_{\Delta \text{本國廠商利潤}} \\ & + \underbrace{\frac{-2(a-t) + 2t + \tau}{(1+\gamma)(\gamma-2)}}_{\Delta \text{污染稅收入}} + \underbrace{\frac{\tau}{(1+\gamma)(\gamma-2)}}_{\Delta \text{關稅收入}} + \underbrace{\frac{-2\theta}{(1+\gamma)(\gamma-2)}}_{\Delta \text{環境損害}} = 0 \end{aligned} \quad (4.8)$$

由 (4.8) 式可知，污染稅上升會使消費量下降，進而降低消費者剩餘、廠商利潤與關稅收入使社會福利降低；此時污染量下降使社會福利增加；而污染稅稅收的變動方向不明確，當污染稅很低時，污染稅上升會使污染稅稅收增加進而增加社會福利。

由社會福利極大化之一階條件，可求解出最適污染稅稅率為：

$$t_b = \theta + \frac{2\gamma}{3\gamma-2}(a-\theta) - \frac{(2\gamma-3)(\gamma+1)}{2(3\gamma-2)(\gamma+2)}\tau \quad (4.9)$$

為符合社會福利極大化之二階條件：

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \frac{-2(3\gamma-2)(\gamma+2)}{(1+\gamma)(\gamma-2)(4-\gamma^2)} < 0 \quad (4.10)$$

我們得出一限制式：

$$\gamma < \frac{2}{3} \quad (4.11)$$

<sup>11</sup> 詳細之數學推導請參考附錄第二部分。

由 (4.9)、(4.11) 二式可知，最適污染稅稅率必然低於邊際環境損害，而污染稅與邊際環境損害之差距則因商品差異程度不同而有所不同。為了解商品替代程度對最適污染稅稅率之影響，我們對最適污染稅稅率以替代程度進行偏微分：

$$\frac{\partial t_b}{\partial \gamma} = \frac{-4(a - \theta)}{(3\gamma - 2)^2} - \frac{11\gamma^2 + 2\gamma + 16}{2(3\gamma - 2)^2(\gamma + 2)^2} < 0 \quad (4.12)$$

由 (4.12) 式，我們得知當商品替代程度上升時，會使最適污染稅稅率下降。這是因為在商品替代程度較高時，政府為保護本國廠商，會採取降低污染稅的政策，使本國廠商較有競爭力。在商品替代程度較低時，消費者對於進口商品的需求較高，政府會採取提高污染稅的政策，使稅收增加來提升社會福利。

**命題 4.** 在 Bertrand 競爭下，政府會將污染稅訂在低於污染所造成的邊際環境損害之水準，且稅率會隨著商品間替代程度的增加而下降。

### 第三節 貿易自由化對環境政策的影響

本節將探討在 Bertrand 競爭下，貿易自由化對最適污染稅稅率及環境損害的影響。為了解貿易自由化對最適污染稅稅率的影響，我們將 (4.11) 式之最適污染稅對關稅做偏微分：

$$\frac{\partial t_b}{\partial \tau} = -\frac{(2\gamma - 3)(\gamma + 1)}{2(3\gamma - 2)(\gamma + 2)} < 0 \quad (4.13)$$

由上式，我們得知關稅稅率與污染稅稅率呈反向變動關係，當關稅上升時，最適污染稅稅率會下降；而當關稅下降時，最適污染稅稅率會上升。如前所述，

關稅與污染稅之間存在著一種抵換關係。

**命題 5.** 在 Bertrand 競爭下，貿易自由化使最適污染稅提高，當關稅稅率調降為零時，污染稅稅率仍低於邊際環境損害之水準。

接下來我們要探討貿易自由化對環境損害造成的影響，將環境損害對關稅做

微分：

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta(q_b + q_b^*)}{d\tau} &= \frac{\partial\theta(q_b + q_b^*)}{\partial\tau} + \frac{\partial\theta(q_b + q_b^*)}{\partial t} \frac{dt}{d\tau} \\
 &= \frac{\theta}{(\gamma + 1)(\gamma - 2)} + \frac{2\theta}{(\gamma + 1)(\gamma - 2)} \left[ -\frac{(2\gamma - 3)(\gamma + 1)}{2(3\gamma - 2)(\gamma + 2)} \right] \\
 &= \frac{(\gamma^2 + 5\gamma - 1)\theta}{(1 + \gamma)(\gamma^2 - 4)(3\gamma - 2)} \tag{4.14}
 \end{aligned}$$

此情況下，貿易自由化對環境損害造成的影響不確定，視商品替代程度大小而定。當  $0 < \gamma < (\sqrt{29} - 5)/2$  時， $d\theta(q_b + q_b^*)/d\tau < 0$ ，關稅下降使環境損害上升；當  $\gamma = (\sqrt{29} - 5)/2$  時， $d\theta(q_b + q_b^*)/d\tau = 0$ ，關稅的變動對環境損害沒有影響；而當  $(\sqrt{29} - 5)/2 < \gamma < 1$  時， $d\theta(q_b + q_b^*)/d\tau > 0$ ，關稅下降會使環境損害降低。

在商品替代程度較低時，關稅調降會使進口商品消費量大幅增加，即使污染稅提升會讓本國商品及進口商品消費量下降，但總消費量仍增加，在此直接效果大於連鎖效果的情況下，會使環境損害增加，環境品質下降；而在商品替代程度較高時，關稅降低對進口商品消費量的影響不大，而污染稅提升會讓本國商品及進口商品消費量下降，進而使總消費量下降，在此連鎖效果大於直接效果的情況

下，會使環境損害降低，進而提升環境品質。

命題 6. 在 Bertrand 競爭下，貿易自由化對環境損害的影響視商品替代程度大小而定。在商品替代程度很低時，貿易自由化將使總消費量上升，進而使環境損害上升；在商品替代程度高時，貿易自由化將使總消費量下降，進而使環境品質提升。



## 第五章 Cournot 競爭與 Bertrand 競爭之比較

前兩章分別探討了在 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之下，廠商與政府的最適決策，以及貿易自由化所帶來的影響，而本章將分析比較兩模型之差異。

由表 5-1 可知，當商品為完全異質商品時，不論廠商是進行數量競爭或是價格競爭，廠商的最適產量決策並不會因競爭型態的不同而改變。在商品非完全同質與完全異質的一般情況下，Cournot-Nash 的均衡解低於 Bertrand-Nash 的均衡解，表示廠商若採用價格競爭，其結果將比採用數量競爭來的激烈。

當廠商進行 Cournot 競爭時，本國廠商與外國廠商在生產異質商品時的產量皆會高於生產同質商品時的產量。若廠商進行 Bertrand 競爭，當商品為同質之商品時，此時廠商會在價格等於邊際成本的情況下生產，其結果與完全競爭狀態下相同；若廠商生產異質商品時，此時價格會高於邊際成本，也就是說，透過產品差異化策略可使價格競爭較緩和。

由  $t_c < t_b$ ，可得知在 Bertrand 競爭之下，政府會將環稅政策訂的較 Cournot 競爭下嚴格，這是因為在 Bertrand 競爭時，廠商的反應函數為正斜率，污染稅稅率提高會增加產品的售價，對手廠商也會做出漲價之回應，兩廠商皆可藉由商品價格的提高獲得更高的利潤，社會福利也因本國廠商利潤增加而提升。

表 5-1 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之比較

	Cournot 競爭	Bertrand 競爭
廠商最適產量決策		
$0 < \gamma < 1$	$q_c = \frac{(2 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{4 - \gamma^2}$ $q_c^* = \frac{(2 - \gamma)(a - t) - 2\tau}{4 - \gamma^2}$	$q_b = \frac{(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)}$ $q_b^* = \frac{(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + (\gamma^2 - 2)\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)}$
$\gamma = 0$	$q_c = \frac{a - t}{2}$ $q_c^* = \frac{a - t - \tau}{2}$	$q_b = \frac{a - t}{2}$ $q_b^* = \frac{a - t - \tau}{2}$
$\gamma = 1$	$q_c = \frac{a - t + \tau}{3}$ $q_c^* = \frac{a - t - 2\tau}{3}$	$q_b = 0$ $q_b^* = 0$
政府最適環境政策		
$0 < \gamma < 1$	$t_c = \theta + \frac{\gamma - 3}{2(2 - \gamma)}\tau$	$t_b = \theta + \frac{2\gamma}{3\gamma - 2}(a - \theta) - \frac{(2\gamma - 3)(\gamma + 1)}{2(3\gamma - 2)(\gamma + 2)}\tau$
$\gamma = 0$	$t_c = \theta - \frac{3}{4}\tau$	$t_b = \theta - \frac{3}{8}\tau$
$\gamma = 1$	$t_c = \theta - \tau$	$t_b = \theta + 2(a - \theta) + \frac{1}{3}\tau$



表 5-2 貿易自由化對 Cournot 競爭及 Bertrand 競爭之影響

Cournot 競爭	Bertrand 競爭
關稅下降使最適污染稅稅率上升。	關稅下降使最適污染稅稅率上升。
關稅為零時，污染稅稅率等於邊際環境損害。	關稅為零時，污染稅稅率低於邊際環境損害。
貿易自由化使總消費量下降，進而提升環境品質。	環境品質視商品替代程度大小而定。 商品替代程度低時，環境品質下降； 商品替代程度高時，環境品質提升。

不論廠商是進行數量競爭抑或是價格競爭，政府會將最適污染稅稅率訂在低於污染所造成的邊際環境損害之水準，並隨著商品異質化程度降低而提升。由上表可看出，貿易自由化會使最適污染稅稅率上升，不因廠商進行數量競爭或價格競爭而有所不同。當關稅調降至零時，當廠商進行數量競爭時，政府會制定較價格競爭更為嚴格的环境政策。

相較於廠商進行數量競爭時，貿易自由化會提升環境品質，當廠商進行價格競爭時，貿易自由化對環境品質的影響需視商品間的替代程度而定。當商品替代程度較低時，貿易自由化使總消費量上升，進而使環境品質下降；而當商品替代程度較高時，貿易自由化會使總消費量下降，進而提升環境品質。

## 第六章 結論

本文是以 Lai (2004) 之單邊貿易模型為基礎，在考慮產品差異性之後加入 Bowley (1924) 的寡占廠商線性需求函數，並利用一個兩階段賽局模型來分析 Cournot 及 Bertrand 兩寡占競爭市場下的最適產量及污染稅稅率，並進一步探討貿易自由化對環境政策與環境品質之影響。

我們發現，不論廠商是進行數量競爭抑或是價格競爭，政府會皆將最適污染稅稅率訂在低於污染所造成的邊際環境損害之水準，並隨著商品異質化程度降低而提升。而貿易自由化下的關稅調降也會使最適污染稅稅率提高，當關稅調降至零時，無論商品替代程度為何，若廠商進行數量競爭，此時最適污染稅稅率會等於邊際環境損害之水準；若廠商進行價格競爭，最適污染稅稅率仍會低於邊際環境損害之水準。

在環境品質方面，數量競爭與價格競爭會有截然不同的結果。在 Cournot 競爭下，關稅下降會使總消費量下降，進而提升環境品質。而在 Bertrand 競爭下，貿易自由化對環境損害的影響則需視商品替代程度大小而定。在商品替代程度很低時，貿易自由化將使總消費量上升，進而使環境損害上升；在商品替代程度高時，貿易自由化將使總消費量下降，進而使環境品質提升。

是以本文主張，在廠商進行價格競爭時，關稅調降與否，須考量商品間的替代程度，否則過度追求貿易自由化將使環境品質趨於惡化。而本文中假設兩國各

只有一家廠商，並未考量廠商數量以及生產技術的差異，且只在單一市場銷售，

因此未來可由這幾個面向做更深入的探討與擴充，以臻完備。



## 附錄

### 一、Cournot 競爭下社會福利極大化之一階條件

將 (3.11) 式的社會福利函數分為五個部分，分別為消費者剩餘 ( $W_1$ )、本國廠商利潤 ( $W_2$ )、污染稅收入 ( $W_3$ )、關稅收入 ( $W_4$ )、環境損害 ( $W_5$ )，則：

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \quad (\text{A.1})$$

第一個部分為消費者剩餘：

$$W_1 = a(q + q^*) - \frac{1}{2}(q^2 + 2\gamma qq^* + q^{*2}) + m - pq - pq^* \quad (\text{A.2})$$

將其對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_1}{\partial t} &= aq' + aq^{*'} - qq' - \gamma qq^{*'} - \gamma q'q^* - q^*q^{*'} + q'q + \gamma \gamma q^{*'} - pq' \\ &\quad + q^*\gamma q' + q^*q^{*'} - p^*q^* \\ &= (a - p)q' + (a - p^*)q^{*'} \\ &= (q + \gamma q^*)q' + (\gamma q + q^*)q^{*'} \\ &= \frac{-1}{2 + \gamma} [(1 + \gamma)q + (1 + \gamma)q^*] \\ &= \frac{-1}{2 + \gamma} [(1 + \gamma)(q + q^*)] \\ &= \frac{-(2 - \gamma)(1 + \gamma)}{4 - \gamma^2} \left[ \frac{2(2 - \gamma)(a - t) + (\gamma - 2)\tau}{4 - \gamma^2} \right] \\ &= \frac{(1 + \gamma)}{(4 - \gamma^2)^2} [-2(2 - \gamma)^2(a - t) + (2 - \gamma)^2\tau] \\ &= \frac{(1 + \gamma)[-2(a - t) + \tau]}{(2 + \gamma)^2} \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

第二個部分為本國廠商利潤：

$$W_2 = \pi = (a - q - \gamma q^* - t)q = aq - q^2 - \gamma q q^* - tq \quad (\text{A.4})$$

將其對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_2}{\partial t} &= aq' - 2qq' - \gamma q'q^* - \gamma qq^{*'} - q - tq' \\ &= (a - 2q - \gamma q^* - t)q' - \gamma qq^{*'} - q \\ &= (a - 2q - \gamma q^* - \gamma q - t) \frac{-(2 - \gamma)}{4 - \gamma^2} - q \\ &= \frac{-(2 - \gamma)(a - t)}{4 - \gamma^2} + \frac{(2 - \gamma)[2(2 - \gamma)(a - t)(1 + \gamma) + \tau\gamma^2]}{(4 - \gamma^2)^2} \\ &\quad - \frac{(2 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{4 - \gamma^2} \\ &= \frac{-2(2 - \gamma)(a - t) - \gamma\tau}{4 - \gamma^2} + \frac{2(2 - \gamma)^2(a - t)(1 + \gamma) + (2 - \gamma)\tau\gamma^2}{(4 - \gamma^2)^2} \\ &= \frac{2(2 - \gamma)(a - t)(1 + \gamma) + \tau\gamma^2 - 2(2 - \gamma)(a - t)(2 + \gamma)}{(4 - \gamma^2)(2 + \gamma)} \\ &\quad - \frac{(2 + \gamma)\gamma\tau}{(4 - \gamma^2)(2 + \gamma)} \\ &= \frac{2(2 - \gamma)(a - t)(1 + \gamma - 2 - \gamma) + \gamma\tau(\gamma - 2 - \gamma)}{(4 - \gamma^2)(2 + \gamma)} \\ &= \frac{-[2(2 - \gamma)(a - t) + 2\gamma\tau]}{(4 - \gamma^2)(2 + \gamma)} \\ &= \frac{-2[(2 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau]}{(2 + \gamma)^2(2 - \gamma)} \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

第三個部分為污染稅收入：

$$W_3 = tq + tq^* \quad (\text{A.6})$$

將其對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial W_3}{\partial t} &= q + tq' + q^* + tq^{*'} \\
&= q + q^* + t(q' + q^{*'}) \\
&= \frac{2(2-\gamma)(a-t) - (2-\gamma)\tau}{4-\gamma^2} - \frac{2(2-\gamma)}{4-\gamma^2}t \\
&= \frac{2(2-\gamma)(a-t) - (2-\gamma)\tau - 2(2-\gamma)t}{4-\gamma^2} \\
&= \frac{2(a-t) - 2t - \tau}{2+\gamma}
\end{aligned} \tag{A.7}$$

第四個部分為關稅收入：

$$W_4 = \tau q^* \tag{A.8}$$

將其對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\frac{\partial W_4}{\partial t} = \tau q^{*'} = \frac{-\tau}{2+\gamma} \tag{A.9}$$

第五個部分為環境損害：

$$W_5 = -\theta(q + q^*) \tag{A.10}$$

將其對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\frac{\partial W_5}{\partial t} = -\theta(q' + q^{*'}) = \frac{2\theta}{2+\gamma} \tag{A.11}$$

加總上述 (A.3)、(A.5)、(A.7)、(A.9)、(A.11) 五式，則可得到 (3.12) 式

之社會福利極大化的一階條件：

$$\begin{aligned}
\frac{\partial W}{\partial t} &= \frac{\partial W_1}{\partial t} + \frac{\partial W_2}{\partial t} + \frac{\partial W_3}{\partial t} + \frac{\partial W_4}{\partial t} + \frac{\partial W_5}{\partial t} \\
&= \frac{(1+\gamma)[-2(a-t) + \tau]}{(2+\gamma)^2} + \frac{-2[(2-\gamma)(a-t) + \gamma\tau]}{(2+\gamma)^2(2-\gamma)} \\
&\quad + \frac{2(a-t) - 2t - \tau}{2+\gamma} + \frac{-\tau}{2+\gamma} + \frac{2\theta}{2+\gamma}
\end{aligned} \tag{A.12}$$

## 二、Bertrand 競爭下社會福利極大化之一階條件

根據前述設定，此處也將社會福利的一階條件分為五個部分做討論，首先將

(A.2) 式之消費者剩餘對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial W_1}{\partial t} &= aq' + aq^{*'} - qq' - \gamma qq^{*'} - rq'q^* - q^*q^{*'} - p'q - pq' - p^*q^{*'} \\
 &\quad - p^{*'}q^* \\
 &= a(q' + q^{*'}) - (q' + \gamma q^{*'} + p')q - (q^{*'} + \gamma q' + p^*)q^* - pq' \\
 &\quad - p^*q^{*'} \\
 &= (a - p)q' + (a - p^*)q^{*'} \\
 &= \frac{2a}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} - \frac{2(2 + \gamma)[(1 - \gamma)a + t] + (2 + \gamma)\tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)(4 - \gamma^2)} \\
 &= \frac{2a}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} - \frac{2[(1 - \gamma)a + t] + \tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)^2} \\
 &= \frac{-2(a - t) + \tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)^2}
 \end{aligned} \tag{A.13}$$

接著將 (A.4) 式之本國廠商利潤對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial W_2}{\partial t} &= (p - t)q' + (p' - 1)q \\
 &= \frac{(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + \gamma\tau}{(4 - \gamma^2)(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \\
 &\quad + \frac{\gamma - 1}{2 - \gamma} \frac{(1 - \gamma)(4 - \gamma^2)a + (2 + \gamma)(\gamma - 1)[(1 - \gamma)a + t] + \gamma\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} \\
 &= \frac{2(\gamma + 2)(1 - \gamma)(a - t) + 2\gamma\tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)(4 - \gamma^2)}
 \end{aligned} \tag{A.14}$$

將 (A.6) 式之污染稅收入對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial W_3}{\partial t} &= q + q^* + tq' + tq^* \\
 &= \frac{2(2 + \gamma)(1 - \gamma)(a - t) + (\gamma + 2)(\gamma - 1)\tau}{(1 - \gamma^2)(4 - \gamma^2)} + \frac{2t}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \\
 &= \frac{2a - 2t - \tau}{(1 + \gamma)(2 - \gamma)} - \frac{2t}{(1 + \gamma)(2 - \gamma)} \\
 &= \frac{-2(a - t) + 2t + \tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \tag{A.15}
 \end{aligned}$$

將 (A.8) 式之關稅收入對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\frac{\partial W_4}{\partial t} = \tau q^* = \frac{\tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \tag{A.16}$$

將 (A.10) 式之環境損害對污染稅稅率做偏微分，可得到：

$$\frac{\partial W_5}{\partial t} = -\theta(q' + q^*) = \frac{-2\theta}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \tag{A.17}$$

加總上述 (A.13)、(A.14)、(A.15)、(A.16)、(A.17) 五式，則可得到 (4.8) 式

之社會福利極大化的一階條件：

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial W}{\partial t} &= \frac{\partial W_1}{\partial t} + \frac{\partial W_2}{\partial t} + \frac{\partial W_3}{\partial t} + \frac{\partial W_4}{\partial t} + \frac{\partial W_5}{\partial t} \\
 &= \frac{-2(a - t) + \tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)^2} + \frac{2(\gamma + 2)(1 - \gamma)(a - t) + 2\gamma\tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)(4 - \gamma^2)} \\
 &\quad + \frac{-2(a - t) + 2t + \tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} + \frac{\tau}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} + \frac{-2\theta}{(1 + \gamma)(\gamma - 2)} \tag{A.18}
 \end{aligned}$$



## 參考文獻

- Barrett, S. (1994), "Strategic Environmental Policy and International Trade," *Journal of Public Economics*, 54, 325-338.
- Bowley, A. L. (1924), *The Mathematical Groundwork of Economics*, Oxford: Oxford University Press.
- Brander, J. A. (1981), "Intra-industry Trade in Identical Commodities," *Journal of International Economics*, 11, 1-14.
- Brander, J. A. and B. J. Spencer (1984a), Tariff Protection and Imperfect Competition, in H. Kierzkowski (ed.), *Monopolistic Competition and International Trade*, Oxford: Clarendon Press.
- Brander, J. A. and B. J. Spencer (1984b), "Trade Warfare: Tariffs and Cartels," *Journal of International Economics*, 16, 227-242.
- Brander, J. A. and B. J. Spencer (1985), "Export Subsidies and International Market Share Rivalry," *Journal of International Economics*, 18, 83-100.
- Conrad, K. (1993), "Taxes and Subsidies for Pollution-Intensive Industries as Trade Policy," *Journal of Environmental Economics and Management*, 25, 121-135.

- Conrad, K. (1996), Choosing Emission Taxes under International Price Competition, in C. Carraro, Y. Katsoulacos and A. Xepapadeas (eds.), *Environmental Policy and Market Structure*, Dordrecht: Kluwer, 85-98.
- Lai, Y.-B. (2004), "Trade Liberalization, Consumption Externalities and the Environment," *Economics Bulletin*, 17, 1-9.
- Kennedy, P. W. (1994), "Equilibrium Pollution Taxes in Open Economies with Imperfect Competition," *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 49-63.
- Rauscher, M. (1994), "On Ecological Dumping," *Oxford Economic Papers*, 46, 822-840.
- Ricardo, D. (1817), *The Principles of Political Economy and Taxation*, London: John Murray.
- Smith A. (1776), *The Wealth of Nations*, Chicago: University of Chicago Press.
- Tanguay, G. A. (2001), "Strategic Environmental Policies under International Dupolistic Competition," *International Tax and Public Finance*, 8, 793-811.