

經濟論文  
中央研究院經濟研究所  
43:1(2015),45-80

## 環境污染型式、市場集中度與環境政策

許淑嫻\*

南台科技大學國際企業系

楊雅博

國立高雄大學經營管理研究所

胡均立

國立交通大學經營管理研究所

**關鍵詞:** 污染損害函數、需求函數、環境政策、寡占

**JEL 分類代號:** F12, F18

---

\* 聯繫作者: 許淑嫻, 南台科技大學國際企業系, 台南市 710 永康區南台街 1 號。電話: (06) 253-3131 分機 5131; 傳真: (06) 254-4363; E-mail: suinghsu@stust.edu.tw。本文承科技部補助 (NSC 98-2410-H-218-019, NSC101-2410-H-390-034, NSC101-2410-H-009-044), 謹誌謝忱。此外, 本文曾於 2011 年台灣經濟學會年會中報告, 我們感謝李宜教授及兩位匿名審查人提供的寶貴意見, 惟文中若有任何疏漏皆係作者之責。



## 摘 要

本研究利用一個 Cournot 數量競爭之寡占模型,探討環境污染型式與市場集中度對一國環境政策之影響。本文發現當污染損害函數為二次式時,其結果與污染損害函數為一次式時截然不同。污染損害函數為一次式的情形下,環境政策並不會因廠商為聚集型廠商或是分散型廠商而有所不同。然而,污染損害函數為二次式的情形下,當市場需求為線性時,聚集型廠商所面對的最適污染稅率會大於分散型廠商所面對的。此外,當需求曲線凸向(凹向)原點時,若廠商為「聚集型廠商」,則產業集中程度愈高,最適污染稅率愈小(大),若廠商為「分散型廠商」且污染損害係數相對較大,則市場集中度愈高,最適污染稅率愈大(小)。本文結果顯示污染損害的函數型式與市場集中度對最適環境政策具有關鍵性影響。



## 1. 前言

全球氣候環境變遷的議題已經成為當前國際關係中最刻不容緩的議題之一。2010 年在墨西哥坎昆舉辦的「聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC)」會議，揭櫫對抗氣候變遷的關鍵並指出全球的各大城市排放的污染占溫室氣體的八成，<sup>1</sup> 因此，對抗氣候變遷的關鍵儼然與減少各大城市造成的環境污染產生連結，降低大城市排放的污染轉而變成一個備受關注的焦點。<sup>2</sup>

污染對環境所造成的影響會隨著許多條件而產生變化，本文欲探討環境污染的型式對環境政策的影響。各種市場結構或環境污染型式下的污染稅，文獻上有頗多探討（見下文之文獻回顧）。雖然與環境污染的型式有關的議題，大量的文獻可供參考，但是美中不足的是在環境保護與國際貿易的文獻中，學理上經常性假設廠商是對稱的，亦即假設各家廠商的成本是相同的，並在此一假定下進行分析；相對於廠商成本相等的情形來說，各家廠商成本不全然相同的情形更貼近現實之產業現狀。其次，文獻上對污染的分類侷限於區域性或跨國性污染，然而，在同一國家中，廠商分佈型態不同會造成不同的環境損害，此不同的環境損害特性對一國的環境政策將會有所影響，就作者所知，此一現象在文獻中尚未被探討過。<sup>3</sup> 有鑑於此，本文欲探究在一個廠商成本不對稱的產業中，廠商所排放的污染對環境造成的損害可能具有不同型式、或可能因為廠商聚集或分散而造成不同的環境損害，在這兩個前提下，一國的環境政策會有何影響。

一直以來，與環境有關的議題一直是學者們關心的焦點。諸如環境污染與環境保護政策的議題，或是環境污染與社會福利的關連等都是相當熱門的

---

<sup>1</sup> 坎昆會議係繼 1997 年的「京都議定書」之後，國際組織提出緩和全球暖化與氣候變遷的執行方案，同時也接替 2012 年到期的京都議定書。

<sup>2</sup> Hoornweg et al. (2011) 指出主要溫室氣體製造者可歸咎於各大城市。此外，各地政府主管當局無不積極地透過環境規範試圖降低污染排放量，官方常用的政策工具包括對污染性產品課徵污染稅 (emission tax)、設定績效標準 (performance standards)、或是利用拍賣的排放許可 (auctioned permits) 等政策工具來保護區域環境。

<sup>3</sup> 在區位的理論中，常見的議題是，給定廠商的設廠位址是集中或分散在一條數線上，然後探討廠商的訂價或市場區隔的問題，或者是針對廠商的設廠位址，討論均衡情形是集中於中點或分散於兩端。



研究。早期環境方面較具代表性的文獻有 Markusen (1975)、Segerson (1988)、Conrad (1993) 等。<sup>4</sup> 90 年代中期後, 與環境有關的文獻慢慢開始擴展, 環境污染與國際貿易之間的關係、環境政策與貿易政策之交互影響、或者是比較各種環境政策的效果等等, 都是學者研究的焦點, 此方面的論著包括 Barrett (1994)、Rauscher (1995)、Montero (2002)、Eliste and Fredriksson (2002)、Cassing and Kuhn (2003)、Hamilton and Requate (2004) 等。<sup>5</sup> 2005 年之後, 環境的文獻更轉趨多元化, Requate (2005) 對環境文獻加以整理得出許多精闢的結論, 他指出在較為競爭的情形下, 市場導向的環境工具往往表現得比集權管制的工具要來得好。<sup>6</sup>

隨著時間演進, 有愈來愈多學者觀察到環境污染的類型有不同型式, 這些不同污染類型所造成的影響亦不相同, 此時政府的作為是否應隨之調整, 此類議題逐漸成為學者討論的焦點。例如, 當污染損害為區域性而非跨國性時, 區域性污染損害下的最適貿易政策可能與跨國性污染損害下的不同, 此方面具代表性的文獻有 Ludema and Wooton (1994)、Copeland and Taylor (1995)、Copeland (1996)、Antweiler et al. (2001)、Benarroch and Thille (2001)、Lai and Hu (2008)、Ferrara et al. (2009)、Bhattacharya and Pal (2010)。Ludema and Wooton (1994) 討論非合作賽局下的跨界污染與貿易自由化的關係; 他們得到在自由貿易協定下, 環境政策可以用來截取貿易的好處。Copeland and

---

<sup>4</sup> Markusen (1975) 探討外國廠商會造成污染的情形下, 進口國該如何利用政策來提高本國福利。Segerson (1988) 首開先例探討非點 (nonpoint) 污染的管制問題。Conrad (1993) 在寡占的國際市場結構下, 探討進口國政府的污染防治補貼政策, 該文得到污染防治補貼可提高進口國之福利。

<sup>5</sup> Barrett (1994) 探討策略性環境政策與國際貿易之間的關係, 他指出政府有誘因對不完全競爭的廠商實行較寬鬆的環境政策, 此寬鬆指的是防治污染的邊際成本小於污染造成的邊際損害。Rauscher (1995) 在非完全競爭的市場架構下研究環境規範如何影響污染廠商的位址選擇, 他指出各國以污染排放稅作為競爭的結果可能導致污染排放稅變得太高或太低。Montero (2002) 在寡占市場下比較排放標準、生產標準、可交易的許可證以及可拍賣的許可證這四種環境政策工具對環境保護的研發誘因之影響。他發現排放標準比起許可證會提供較高的研發誘因。Eliste and Fredriksson (2002) 提出一個理論說明環境法規與貿易之間的關係, 並以農業部門的實證資料加以驗證。Cassing and Kuhn (2003) 假設工業化國家生產產品時會同時產生廢棄物, 此廢棄物可出口到開發中國家, 在國際上存在廢棄物交易的寡占市場下, 分析有害廢棄物的環境政策與國際貿易之議題。Hamilton and Requate (2004) 討論市場垂直結構與策略性環境貿易政策之關連。他們指出當垂直合約可行時, 無論廠商在國際市場是進行數量競爭或是價格競爭, 對具污染性要素所採取的最適政策是對它課庇古稅 (Pigouvian tax)。

<sup>6</sup> Requate (2005) 得出的結論尚包括: 價格管控的政策 (像是課稅政策) 和數量管控的政策 (像是可交易的污染權證), 基本上兩者幾乎是等價的; 此外, 可拍賣的排放許可 (auctioning permits) 和溯祖條款 (grandfathering) 在競爭的條件下沒有差別。

Taylor (1995) 討論國民所得與開放貿易對污染水準的影響; 他們得出如果各國的所得水準差異很大的話, 則自由貿易會使全球的污染水準上升。Copeland (1996) 探討存在國外廠商會造成跨界污染下的地主國之最適貿易政策; 該文得到, 當該廠商有防治技術時, 地主國會有誘因而向該廠商課徵污染稅。Antweiler et al. (2001) 討論自由貿易是否對環境最好。Benarroch and Thille (2001) 在一般均衡模型中分析跨界污染對貿易與福利的影響; 他們發現, 跨界污染可以帶來好處, 當一國家內會造成更多的跨界污染時, 可能導致出口更多的非污染財貨。Lai and Hu (2008) 討論關稅協定與跨界的消費性污染之關係, 他們得到如果跨界污染過高, 應該對進口品補貼; 且降低進口關稅有助於全球環境的提升。Ferrara et al. (2009) 建立一個存在跨界污染下之出口競爭模型, 討論差別關稅下的防治污染水準; 他們得出比起差別關稅, 單一關稅會產生更高標準的防治水準。Bhattacharya and Pal (2010) 分析在不同國際貿易之機制下, 存在區域性污染與全球性污染之環境標準的策略性本質; 該文顯示在開放經濟體系下, 環境標準可能是策略性替代或策略性互補, 在封閉經濟體系下, 環境標準必然是策略性替代。

根據上述文獻可知, 政府的最適政策會隨著廠商造成環境污染的型式而產生變化。換言之, 當產品製造的過程中會造成污染時, 政府應將污染的型式納入考慮來調整政策的方向或幅度。就我們所知, 文獻上對類似問題進行探討的論著有 Levin (1985) 和 Van Long and Soubeyran (2005) 兩文。Levin (1985) 在開放經濟體系下, 假設異質 (即生產成本不相等) 的出口廠商, 出口到國外市場時, 在寡占的市場結構下探討污染稅的政策效果; 該文發現, 對出口廠商課徵污染稅可能反而會導致總污染量提高。Van Long and Soubeyran (2005) 考慮污染損害為一次式的型式, 討論不對稱的污染 (即廠商的污染排放量不相同) 下之非對稱的環境政策, 該文的結論有兩點, (1) 最有效率的稅率結構是低成本廠商付出高稅率, (2) 最適稅率會提高產業集中度。上述兩文與本文不同之處在於 Levin (1985) 和 Van Long and Soubeyran (2005) 都沒有探討污染型式之影響。

詳言之, 本文想問如下的問題。在一個國家存在許多家成本相異的廠商, 當廠商的污染排放會隨著其分佈型態而改變時, 若政府對廠商課徵污染稅, 則不同的污染型式對此一環境政策會產生何種影響? 本文建立一個寡占模型來分析廠商生產產品會造成環境污染時, 不同環境污染損害的型式下,



政府的最適環境政策。直言之, 本文建立一個部份均衡的 Cournot 寡占模型, 在多家廠商的成本不齊一的情形下, 討論不同的污染損害型態對一國環境政策的影響, 並探討大小不一的廠商對政府政策以及產業集中程度對政策的影響。

本文章節安排如下。第一節為前言, 第二節為基本模型與市場均衡, 第三節政府環境政策之分析, 3.1 節先分析污染損害函數為一次式時之環境政策, 3.2 節在污染損害函數為二次式下探討政府的環境政策, 第四節為延伸模型與討論, 第五節為結論與建議。

## 2. 基本模型與市場均衡

假設一污染產業有  $n$  家成本相異的廠商, 廠商分佈的型態為下列兩者之一: 聚集在某一特定區域 (如科技工業園區), 或散佈在各地, 為了行文方便起見, 我們將前者的廠商類型稱為「聚集型廠商」, 後者稱為「分散型廠商」。

此  $n$  家廠商生產同質性產品在市場上販售, 並在市場上從事 Cournot 數量競爭, 市場的反需求函數以  $p$  表示,  $p'(Q) < 0$ ,  $Q \equiv \sum_i q_i$ ,  $q_i$  表示廠商  $i$  的生產數量。  $c_i$  表示廠商  $i$  的邊際生產成本, 其為一固定數且各家廠商的邊際生產成本不完全相同。為了便於分析市場集中度對於最適污染政策的影響, 本文假設  $\sum_i c_i/n$  為固定值, 亦即產業的平均邊際成本為固定值, 此一設定與 Van Long and Soubeyran (1997) 之設定相同。此外, 我們假定廠商每生產一單位產品會排放一單位的污染, 政府對此一污染排放課徵污染稅,  $t$  表示單位污染稅。<sup>7</sup> 本文假設在政府課稅前或課稅後商品市場皆為  $n$  家廠商的寡占市場。

假定廠商製造產品時都會排放污染, 而污染會對環境造成損害,<sup>8</sup> 污染排

<sup>7</sup> 文獻上探討政府處理污染損害對環境之影響一議題, 有學者主張對廠商造成的污染損害課稅, 亦有學者強調對污染源 (即生產量) 課稅, 本文探討政府對廠商的污染源加以課稅之作法。就實務觀點來說, 當廠商為聚集型時, 對污染造成的損害來課稅有其困難性, 最大的困難點在於監測各別廠商排放的污染占總污染損害的比重, 認定總污染損害中各別廠商所造成的損害之比例相當困難。此外, 課徵污染稅的根據最終仍是依據產量來衡量, 有學者主張分析線性污染損害函數的污染稅實際上等同於分析調整的生產稅 (見 Van Long and Soubeyran (2005) 第 431 頁 (25) 式之定義)。

<sup>8</sup> 在學理上有學者主張污染為生產行為的副產品 (joint product or side product), 亦有學者主張污染為生產的要素。在本文中, 我們採用前者的看法將污染視為廠商生產產品時所製造出來的副產品。



放對環境形成的損害我們以損害函數  $D = D(q_1, q_2, \dots, q_n)$  表示之, 此污染損害有可能會隨著廠商的分佈不同而相異。我們將在第三節中討論不同污染損害型式下之最適環境政策。

本文設立一個二階段的賽局來進行分析。在賽局的第一階段, 政府以社會福利極大為目標決定對廠商課徵污染稅; 第二階段,  $n$  家成本相異的廠商在市場上進行數量競爭。我們以回溯法 (backward induction) 得出子賽局納許完全均衡 (subgame perfect Nash equilibrium)。

根據上述, 依回溯法, 先求解賽局的第二階段, 即  $n$  家成本相異的廠商決定生產數量以極大化如下的廠商利潤:

$$\pi^i = (p - c_i - t)q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

廠商利潤極大化的一階條件如下:

$$\pi_{q_i}^i = (p - t - c_i) + p'q_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

對上列  $n$  條一階條件加總可得下式:

$$n(p - t - \bar{c}) + p'Q = 0. \quad (3)$$

(3) 式中  $\bar{c}$  為產業的邊際生產成本之平均,  $\bar{c} \equiv \sum_i c_i/n$ , (3) 式中的小括弧代表產業的平均加碼 (average mark-up), 我們以  $k$  表示, 即  $k \equiv (p - t - \bar{c}) > 0$ 。由 (3) 式亦可知, 產業的整體產量與成本具有如下的關係: 總產量與產業的平均邊際成本有關、與邊際成本的變異情形無關, 此方面的論述亦可見 Bergstrom and Varian (1985) 與 Salant and Shaffer (1999)。為了行文方便, 我們將此寫成輔理 1。

**輔理 1** 產業的整體產量與產業的平均邊際成本有關、與邊際成本的變異數無關。

此外, 根據 (3) 式, 我們亦可找出市場集中度與產業總利潤之間的關聯



性。若依 Herfindahl-Hirshman 指數的定義, 市場集中度指標  $H \equiv \sum_i q_i^2 / Q^2$ , 其定義為廠商市場占有率的平方之加總, 利用 (3) 式以及平均加碼 ( $k$ ), 我們可將此一市場集中度整理成下式:

$$H = \frac{1}{n} + \frac{\text{Var}(c_i)}{nk^2}. \quad (4)$$

在 (4) 式中,  $\text{Var}(c_i)$  為廠商的邊際生產成本之變異數, 即  $\text{Var}(c_i) \equiv \sum_i (c_i - \bar{c})^2 / n$ 。市場集中度  $H$  之值介於  $1/n$  與  $1$  之間,  $H$  愈接近  $1(0)$  表示市場愈集中(不集中)。此外, (4) 式亦顯示出廠商的成本變異數提高時, 市場的集中程度會提高;<sup>9</sup> 當廠商數目 ( $n$ ) 增加而平均加碼與成本變異數皆不變時,  $H$  會愈小。

(4) 式之市場集中程度與整體產業的利潤關係非常密切。我們先將利潤極大化的一階條件 (2) 式代入 (1) 式, 對  $n$  條利潤式進行加總得出產業的整體利潤  $\Pi = -p' \sum_i q_i^2$ , 進一步觀察整體產業的利潤與 (4) 式, 可得市場集中度指數與產業整體利潤的關係式如下:

$$\Pi = \frac{nk^2 + n\text{Var}(c_i)}{-p'} = H \frac{n^2 k^2}{-p'}. \quad (5)$$

(5) 式顯示, 給定產業的平均生產成本不變, 當廠商的成本變異提高, 即  $\text{Var}(c_i)$  提高時, 市場集中度 ( $H$ ) 會提高, 而產業的總體利潤會跟著上升。其中原因在於, 當產業的邊際生產成本之平均 ( $\bar{c}$ ) 不變時, 產業的平均加碼 ( $k$ ) 亦不變, 那麼, 根據輔理 1, 產業的總產量亦不會改變; 此時, 廠商的成本變異增加會使市場集中度提高, 造成成本相對較低之廠商會增加生產, 而成本相對較高之廠商會減少生產, 此時, 前者的利潤提高, 而後者的利潤降低, 前者增加的幅度大於後者減少的幅度, 因此整體的產業利潤會獲得提升。此一市場集中度提高造成產業利潤提升的結果係由於產業的生產效率提高了, 此效果將在命題 1 中扮演重要角色, 我們將此一效果寫成輔理以便行文。

**輔理 2** 給定其他條件不變, 當市場集中度 ( $H$ ) 提高時, 產業的整體利潤會跟

<sup>9</sup> 此方向亦可由 (4) 式得出, 即  $\frac{dH}{d\text{Var}(c_i)} = \frac{1}{nk^2} > 0$ 。



著上升。

對(2)式及(3)式全微分,利用 Cramer's Rule, 得出下列比較靜態結果:<sup>10</sup>

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{n}{(n+1)p' + p''Q} = \frac{n}{p'(n+1+E)}, \quad (6a)$$

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{p' + p''(Q - nq_i)}{p'[(n+1)p' + p''Q]} = \frac{1+E - nE_i}{p'(n+1+E)}, \quad (6b)$$

其中,  $E \equiv \frac{P''Q}{P'}$ ,  $E_i \equiv \frac{p''q_i}{p'}$ ,  $E \equiv \sum_1^n E_i$ 。

假設需求曲線不是非常凸向原點,使得二階條件與隱定條件皆滿足,故(6a)式與(6b)式的分母之符號為負號,即 $p'(n+1+E) < 0$ 。(6a)式顯示,污染稅提高對該產業的整體產量有負向影響;(6b)式則顯示,只要需求曲線不是非常凸向原點,污染稅提高對 $i$ 廠商的產量會有負向影響。

### 3. 政府環境政策之分析

根據第二階段均衡,我們依回溯法求解第一階段。第一階段中,政府制定一個環境政策來追求社會福利極大。此一社會福利包括 $n$ 家廠商的利潤、消費者剩餘(CS)、政府稅收( $tQ$ )以及廠商排放污染對環境造成的損害( $D$ )。

我們將污染損害函數分為一次式與二次式兩種,此污染損害函數之區分係刻劃污染對環境造成的損害可能有不同形式,當污染損害函數設定為污染的一次(二次)式時,意謂著污染的邊際損害會隨著污染量增加而維持不變(變嚴重)。此兩種污染損害函數的形式在文獻中皆為常見的設定。將污染損害函數設為一次式的學者如 Montero (2002), Kayalica and Lahiri (2005), Bhattacharya and Pal (2010)等。此外,將污染損害函數設定為污染的二次式也很常見。在將污染損害函數設為污染的二次式的文獻中,大部份將污染損害

<sup>10</sup> 給定廠商的邊際成本,由(3)式可知產業的總產量會受到污染稅率的影響,由(2)式得知個別廠商的產量除了受到污染稅率的影響之外,污染稅對總產量的影響也會影響個別廠商的產出數量,故(6a)的比較靜態可逕由(3)式得出,待得出(6a)後,再求出個別廠商的產量受污染稅率之影響,即(6b)的比較靜態結果。



函數設定為總污染量的二次式函數, 即污染量加總後的平方(例如 Dijkstra et al., 2006; Poyago-Theotoky, 2007; Ferrara et al., 2009 等)。此一型態的污染可視為整個產業聚集在某一工業區內, 其排放的污染匯集後再污染臨近的居民。將污染損害函數設定為個別污染量造成的損害再加總的學者如王佳琪與邱俊榮(2010), 此一污染型式可視為產業內之廠商分散在各地, 各廠商排放之污染就近污染鄰近居民。本文將廠商分佈型態納入考慮, 在污染損害為二次式下, 將上述兩種不同的污染損害函數皆納入以分析政府的最適環境政策。

雖然在理論上將污染損害函數設為線性是對數學求解很便利的設定, 但多數的環境經濟實證文獻支持污染損害函數是非線性的設定。例如: 在同時考慮一次式及二次式損害成本函數設定下, Tol (1995) 的實證結果顯示二次式的損害成本函數設定, 對估計氣候變遷產生的有形及無形損害成本產生較佳的配適度 (fitness), 因此該文利用二次式的估計結果進行後續的統計推論。利用跨國的資料, Shafik (1994) 發現在各種可能的實證函數形式中, 二次式對人均所得及環境品質 (污染損害是環境品質的反向指標) 之間關係的配適度最佳。Grossman and Krueger (1995) 發現環境品質與經濟成長間的關係並非線性的, 環境品質與人均所得間呈現加速惡化後加速改善的情形, 符合所謂的環境顧志耐曲線 (environmental Kuznets curve) 現象。然而, 在一個經濟體的人均所得達到轉折點之前, 環境品質在人均所得線性增加時將呈現加速惡化的現象。利用跨國跨期的縱橫面資料, Cole et al. (1997) 則主張取全對數二次函數對人均所得與環境品質的關係的估計上的配適度良好, 且支持顧志耐曲線的現象。

從以上文獻可以得知, 在採取足夠且有效環境保護措施前, 多數實證文獻支持污染損害是隨經濟產出的增加而加速增加, 意即環境品質隨經濟產出增加呈現加速惡化的現象。實證文獻多數支持二次式的污染損害函數 (或環境品質惡化函數) 具有較佳的配適度, 但部分文獻也同時納入一次式的估計結果。本論文分析及討論的區間是邊際污染損害為非遞減的情形, 並一併分析及討論環境損害函數為一次式及二次式下的結果。當然, 在人均所得提高至一定水準之後, 由於採取了足夠且有效的環境保護措施, 則邊際污染損害仍有可能呈現遞減的現象。

我們在第 3.1 節先討論污染損害函數為一次式時的最適環境政策, 在 3.2 節中, 再探討污染損害函數為二次式的最適政府政策。



### 3.1 污染損害函數為一次式

本節中，我們分析污染損害函數為一次式時政府之環境政策。污染損害函數為一次式，表示一單位污染對環境造成的損害呈線性增加，令  $D = (\delta/2) \sum_i q_i$ ， $\delta$  表示污染損害的係數， $\delta/2$  表示污染的邊際損害， $\delta$  愈大（小）意謂著環境污染的邊際損害會愈大（小）。<sup>11</sup> 換言之，政府極大化下列的社會福利：

$$\max_t SW = \sum_i \pi^i + CS + tQ - \frac{\delta}{2} \sum_i q_i. \quad (7)$$

(7) 式等號右邊前兩項分別為生產者剩餘與消費者剩餘，第三項為污染稅稅收，(7) 式的最後一項表示污染造成的環境損害， $\delta$  愈大（小）意謂著污染造成的環境損害會愈大（小）。<sup>12</sup> 值得注意的是，當污染損害為一次式時，不論廠商為分散型廠商或聚集型廠商，其造成的污染損害皆具有相同的形式，即污染損害函數皆相同，皆為  $D = (\delta/2) \sum_i q_i$ 。

政府極大化社會福利來決定最適污染稅率，(7) 式對污染稅率全微分可得福利極大化的一階條件如下：<sup>13</sup>

$$\frac{dSW}{dt} = -p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} - p'' \sum_i q_i^2 \frac{dq_i}{dt} - p'Q \frac{dQ}{dt} + t \frac{dQ}{dt} + Q - \frac{\delta}{2} \frac{dQ}{dt} = 0. \quad (8)$$

(8) 式中，等號右邊的前兩項代表污染稅稅率對生產者剩餘的影響，第三項是污染稅率對消費者剩餘的影響，第四、五兩項是稅率對稅收的影響，最後一項則是稅率對環境損害的影響。利用 (6) 式，我們可由 (8) 式得出污染稅率如下：

<sup>11</sup>  $\delta/2$  的設定是為了便於在二次型的污染損害函數的設定下進行分析。

<sup>12</sup> 本文假設廠商間的邊際成本不盡相同，而污染損害卻可能相同，其中原因是廠商生產的邊際成本可能包括生產原料成本、勞動成本、運費成本及製程成本等，上述原料成本與勞動成本每一家廠商相同是合理的；惟運費成本會因其距離最終財市場遠近而廠商有所差異，而製程成本在廠商之間也可能因效率不同而不同，此二者乃廠商間邊際成本差異的主因。然而，生產原料是廠商排放污染的主要來源，廠商使用相同的原料排放相同的污染，進而造成相同的污染損害，卻因為其它部份的成本差異造成廠商間的邊際成本不同，導致不同的市占率，其間並無矛盾之處。我們感謝匿名審查人提出的寶貴建議。

<sup>13</sup> 污染稅率之推導過程請參見附錄 1。



$$t - \frac{\delta}{2} = \frac{p'Q}{n} + \frac{p''Q^2}{n}(1 - nH). \quad (9)$$

由(9)式的污染稅,我們歸納出需求曲線的曲度( $p''$ ),污染損害的係數( $\delta$ )以及產業的集中程度( $H$ )都會交互影響產業政策。底下,我們對此一污染稅的結構加以分析。

觀察(9)式,得出當同質性廠商的數目非常多時(即 $n \rightarrow \infty$ 且 $\text{Var}(c_i) = 0$ ), $t = \delta/2$ ;換言之,當市場趨近於完全競爭時,政府設定的污染稅率應該等於污染所造成的邊際損害,此一課稅概念即庇古稅(Pigouvian tax)。

此外,若需求曲線為線性(即 $p'' = 0$ ),則(9)式之污染稅為 $t = p' \frac{Q}{n} + \frac{\delta}{2} < \frac{\delta}{2}$ ,此一稅率顯示,污染稅率比庇古稅率要來得小、且與市場集中度無關。進一步利用(3)式之一階條件及產業的平均加碼( $k$ )之定義加以整理,我們得出在線性需求下,污染稅 $t = -k + (\delta/2)$ 。由此,我們可知當需求曲線為線性時,若污染的邊際損害大(小)於產業的平均加碼,則政府應對廠商課稅(補貼)。

造成上述結果的原因如下。當污染稅提高時,產業的總生產量會下降(根據輔理 1),總產量下降對生產者剩餘和消費者剩餘的影響都是負向的,但是總產量下降會減少污染造成的環境損害,污染損害下降會提升福利。因此,當污染的邊際損害較大時(即 $\delta/2 > k$ ),污染損害的影響相對較大,所以政府應該課徵污染稅來減少污染造成的環境損害。

另一方面,當需求線為非線性時,若需求曲線凸(凹)向原點,則最適污染稅率 $t = \underbrace{p'(Q/n)}_{-} + \underbrace{(\delta/2)}_{+} + \underbrace{(p''Q^2)(1 - nH)/n}_{-} < (>) p'(Q/n) + (\delta/2)$ 。<sup>14</sup>我們以下列三項效果來分析此一污染稅。首先,政府對廠商降低稅率的誘因是希望廠商擴大產量、以嘉惠市場上的消費者,此效果表現在最適污染稅等號右邊的第一項,其值為負;其次,政府對廠商提高稅率的誘因來自於廠商生產會排放污染、造成環境的損害,故污染的邊際損害愈高,污染稅會愈高,此效果表現在最適污染稅等號右邊的第二項,其值為正。上述兩項政策效果不論需求曲線為線性或非線性都會存在,但是,與線性需求相較,非線性需求會多出一

<sup>14</sup> 由於市場集中度 $H$ 之值大於 $1/n$ ,故 $(1 - nH)$ 必然為負值。



項異於線性需求的政策效果, 此項效果表現在最適污染稅等號的最後一項, 其值之正負端視需求曲線的彎曲程度而定, 當  $p'' > (<) 0$  時, 此項之值為負 (正)。此第三項政策誘因即是: 當需求曲線凸向 (凹向) 原點時, 同樣課一單位稅率, 低成本廠商減少的產量會比高成本廠商要來得多 (少), 此時, 課稅會降低 (提高) 產業的生產效率 (effect of productive efficiency), 因此, 當需求曲線凸向 (凹向) 原點時, 政府課稅的誘因會被降低 (增強)<sup>15</sup> 我們將上述結果寫成命題 1。

**命題 1** 給定污染損害為一次式, (1) 當需求曲線為線性時, 若污染的邊際損害大於 (小於) 產業的平均加碼, 則污染稅率為正值 (負值); (2) 當需求曲線凸向 (凹向) 原點時, 政府課稅的誘因會被減弱 (增強)。

接下來, 由 (9) 式, 我們得出產業的集中程度 ( $H$ ) 會影響環境政策。由 (4) 式得出產業集中程度會受到邊際生產成本的變異之影響, 因此, 我們可透過邊際生產成本之變異來探討市場集中度的變化對環境政策之影響。為了檢視市場集中程度對污染稅的影響, 對 (8) 式之一階條件全微分再利用 (4) 式加以整理可得下式:

$$\frac{dt}{d\text{Var}(c_i)} = - \frac{SW_{t \text{ var}(c_i)}}{\underbrace{SW_{tt}}_{< 0}}, \quad (10)$$

其中,  $SW_{t \text{ var}(c_i)} = p''Q^2 / \{k^2 \underbrace{[(n+1)p' + p''Q]}_{> 0}\} > (=, <) 0$ , 若  $p'' < (=, >) 0$ 。

假設社會福利極大化的二階條件成立 ( $SW_{tt} < 0$ ), 由上述可整理得  $dt/d\text{Var}(c_i) > (<) 0$ , 若  $p'' < (>) 0$ 。由此可知, 若需求曲線為線性, 則市場集中度對污染稅沒有影響, 因為需求曲線為線性時, 政府提高一單位稅率對高成本廠商與低成本廠商的影響是相同的, 即高成本或低成本廠商減少的產量是相同的。換言之, 市場集中度提高, 高成本或低成本廠商的產量變化量是相同的, 故線性需求下, 市場集中度不會影響污染稅的水準。

反之, 若需求曲線為非線性, 則市場集中度會影響污染稅的水準。當  $p'' >$

<sup>15</sup> 我們稱此一效果為「生產效率效果」, 係為了與文獻 Van Long and Soubeyran (1997) 一致 (見該文 214 頁第 2 段第 5 行)。



( $<$ ) 0 時,  $dt/d\text{Var}(c_i) < (>) 0$ , 亦即, 給定需求曲線凸向(凹向)原點, 當市場集中程度提高時, 污染稅會愈低(高)。造成此一結果的原因如下。由於污染損害函數為總產量的一次式, 因此, 在線性需求下, 給定總產量不變, 產業集中程度的變化對污染損害不會造成影響, 對消費者剩餘也不會造成影響。但是, 當需求曲線凸向(凹向)原點時, 若市場集中程度提高, 則低成本廠商增加的產量會多過於高成本廠商減少的產量; 換言之, 需求曲線凸向(凹向)原點時, 若政府課稅會使低成本廠商減少的產量大於(小於)高成本廠商減少的產量, 造成生產效率損失。因此, 當需求曲線凸向(凹向)原點時, 若產業集中程度提高, 則課稅會使產業的生產效率損失變大(小)。

綜合上述, 當需求曲線凸向(凹向)原點時, 隨著產業集中程度提高, 污染稅應該要愈小(大)。易言之, 當需求曲線凸向原點時, 若市場集中度愈高, 則提高污染稅率會使產業的生產效率下降, 所以, 需求曲線凸向原點時, 市場集中度愈高, 稅率應該愈低; 反之, 需求曲線凹向原點時, 若市場集中度愈高, 稅率應該愈高。我們將上述分析寫成命題 2。

**命題 2** 在污染損害為一次式的情形下, 若市場需求為線性, 則市場集中度不會影響污染稅率; 反之, 若需求曲線凸向(凹向)原點, 則市場集中程度愈高, 污染稅率應該愈低(高)。

### 3.2 污染損害為二次式

由上一小節, 我們得知當污染損害函數為一次式時, 廠商的分佈型態為聚集型或分散型並不會影響政府的環境政策。然而, 若污染損害函數不是一次式、而是二次式, 那麼, 污染損害會隨著廠商的分佈型態而有所差異, 此時政府的環境政策之變化是本節探討的重點。

在污染損害為二次式下, 分散在各地的各家廠商排放的污染損害匯聚在一起對環境造成的影響, 我們以加總個別廠商的污染損害來表現之, 即  $D = (\delta/2) \sum_i q_i^2$ ,  $\delta$  代表污染損害的係數, 此種類型的廠商我們稱之為「分散型廠商」; 另一方面, 當廠商群落為「聚集型廠商」, 生產產品對環境造成的損害形式會是污染聚集起來再對社會環境損害造成影響, 我們以廠商排放的污染量加總後再平方來表現此一污染造成的環境損害, 即  $D = (\delta/2)(\sum_i q_i)^2$ 。



在二次式的污染損害下, 賽局的第二階段與第二節 (1) 至 (6) 式相同, 皆為廠商的市場競爭階段。因此, 我們直接分析賽局的第一階段。第一階段中, 政府制定一個環境政策來追求社會福利極大。此一福利包括  $n$  家廠商的利潤、消費者剩餘 (CS)、政府稅收 ( $tQ$ ) 以及廠商排放污染對環境造成的損害, 如下式所示。

$$\max_t SW = \sum_i \pi^i + CS + tQ - \frac{\delta}{2} \left( \sum_i q_i^2 \right) \mu - \frac{\delta}{2} \left( \sum_i q_i \right)^2 (1 - \mu). \quad (11)$$

(10) 式等號右邊前兩項分別為生產者剩餘與消費者剩餘, 第三項為稅收, (11) 式的最後兩項表示污染造成的環境損害,  $\mu$  是指示變數 (indicative variable),  $\mu = 0$  代表環境損害是「聚集型廠商」所造成的,  $\mu = 1$  則表示環境損害是由「分散型廠商」所造成的。

政府選擇一稅率來極大化社會福利, (11) 式對稅率微分可得福利極大化的一階條件如下:

$$\begin{aligned} \frac{dSW}{dt} = & -p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} - p'' \sum_i q_i^2 \frac{dQ}{dt} - p'Q \frac{dQ}{dt} + t \frac{dQ}{dt} + Q \\ & - \delta \sum_i q_i \frac{dq_i}{dt} \mu - \delta Q \frac{dQ}{dt} (1 - \mu) = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

將上式移項, 利用 (3)、(4) 與 (6) 式, 我們得出最適污染稅如下:

$$t = \frac{p'Q}{n} \left( 1 + \frac{\delta\mu}{p'} \right) + \frac{(p' + \delta\mu)p''Q^2(1 - nH)}{np'} + \delta Q(1 - \mu). \quad (13)$$

(13) 式顯示: 當污染損害為二次式時, 在污染稅之正負符號之判別上, 廠商分佈的型式 ( $\mu$ ) 或者是污染損害係數 ( $\delta$ ) 扮演了重要角色, 此外, 需求曲線的曲度 ( $p''$ ) 亦對污染稅有顯著影響。以下我們逐一分析之。

在需求曲線為非線性的情形下, 我們針對廠商的分佈型態來比較污染稅之大小。令 (12) 式等於零, 在  $\mu = 0$  的條件下可得到廠商為聚集型時的最適污染稅之一階條件, 我們令此一污染稅為  $t^{\mu=0}$ 。將  $t^{\mu=0}$  代入 (12) 式之稅率並令  $\mu = 1$ , 可得下式:



$$\left. \frac{dSW}{dt} \right|_{\mu=1, t=t^{\mu=0}} = \delta Q \frac{dQ}{dt} - \delta \sum_i q_i \frac{dq_i}{dt}. \quad (12a)$$

利用 (6) 式及 (4) 式對 (12a) 加以整理可得下式:

$$\left. \frac{dSW}{dt} \right|_{\mu=1, t=t^{\mu=0}} = \frac{\delta Q \underbrace{[p'(n-1) - p''Q(1-nH)]}_{-}}{\underbrace{p'[(n+1)p' + p''Q]}_{+}} < 0, \quad \text{若 } p'' \leq 0. \quad (12b)$$

(12b) 式表示若  $p'' \leq 0$ , 則  $\mu = 1$  時之污染稅率必然會小於  $\mu = 0$  時之污染稅率; 若  $p''$  不是太大的正數, 則  $\mu = 1$  時之污染稅率亦會小於  $\mu = 0$  時之污染稅率。換言之, 若需求曲線不太凸向原點, 當廠商為分散型時 (即  $\mu = 1$ ) 之污染稅率會小於廠商為聚集型時 (即  $\mu = 0$ ) 之污染稅率。

綜合上述, 我們可知, 當廠商為聚集型時, 政府福利極大化的污染稅率會大於廠商為分散型時之污染稅率。換言之, 以課污染稅來說, 廠商為聚集型時政府干預市場的範圍較廠商為分散型時要來得大。我們就上述的分析寫成下列命題。

**命題 3** 在污染損害為二次式下, 若市場需求曲線不太凸向原點, 則廠商為聚集型時 (即  $\mu = 0$ ) 之污染稅率會大於廠商為分散型時 (即  $\mu = 1$ ) 之污染稅率。

上述結果的經濟意義如下。由 (12) 式的一階條件可得知, 在兩種廠商型態下, 污染稅提高對生產者剩餘與消費者剩餘都有負向影響, 而提高污染稅都有助於減少污染對環境造成的損害。然而, 對政府而言, 課一元的稅對市場的影響是交易量減少, 且兩種廠商類型下交易量減少的幅度是相同的, 但是, 污染損害減少的幅度卻會因為廠商為聚集型或分散型而有所不同。當廠商為聚集型時, 污染損害下降的幅度比較多, 分散型時污染損害下降的較少。因此, 當廠商為聚集型時, 政府的最適污染稅會大於廠商為分散型廠商時的污染稅。

進一步比較命題 1 與命題 3, 我們可知污染損害函數為一次式時與二次式時之污染稅率並不相同。首先, 同樣在線性需求下, 當污染損害函數為一



次式時，污染課稅或補貼的判別點是污染的邊際損害 ( $\delta/2$ ) 與產業平均加碼 ( $k$ ) 之相對大小；此外，在污染損害函數為一次式下，廠商分佈的型態不會影響污染稅。然而，污染損害函數為二次式下，廠商為聚集型時所面對的污染稅率會高於廠商為分散型時的污染稅率。

接下來，我們檢視產業的集中程度 ( $H$ ) 對污染稅之影響。對 (12) 式全微分再利用 (4) 式加以整理可得下式：

$$\frac{dt}{d\text{Var}(c_i)} = - \frac{\text{SW}_{t \text{ var}(c_i)}}{\text{SW}_{tt}}, \quad (14)$$

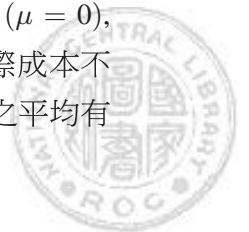
其中， $\text{SW}_{t \text{ var}(c_i)} = p''Q^2(p' + \delta\mu) / \{p'k^2[(n+1)p' + p''Q]\}$ 。

(14) 式顯示產業集中度對污染稅的影響不是單一面向的，而是會受到廠商的型式 ( $\mu$ )、污染的邊際損害 ( $\delta$ ) 以及需求曲線的曲度 ( $p''$ ) 之綜合影響。

當  $p'' = 0$  時，不論是聚集型或分散型廠商，因為生產效率沒有受到扭曲，產業集中程度不會對生產稅率造成影響，即  $dt/d\text{Var}(c_i) = 0$ 。然而，當需求曲線不是線性時，產業集中程度對污染稅率的影響會受到多項因素所左右，即  $\text{sgn}[dt/d\text{Var}(c_i)] = \text{sgn}[p''Q^2(p' + \delta\mu)]$ ，當  $p'' > 0$  時，(14) 式之正負號視  $p' + \delta\mu$  而定，若  $p' + \delta\mu \geq 0$ ，則  $dt/d\text{Var}(c_i) \geq 0$ ； $p'' < 0$  時之情形恰與  $p'' > 0$  時之情形相反，若  $p' + \delta\mu \geq 0$ ，則  $dt/d\text{Var}(c_i) \leq 0$ 。換言之，若需求曲線不是線性，那麼除了需求曲線的彎曲程度之外，廠商的分佈型態為聚集或分散亦會對 (14) 產生關鍵性影響。

以下我們先就「聚集型廠商」加以分析，分析完聚集型廠商後再分析「分散型廠商」。若需求曲線不是線性，當廠商為聚集型廠商時（即  $\mu = 0$ ）， $\text{sgn}[dt/d\text{Var}(c_i)] = \text{sgn}[p''Q^2p']$ ，意謂著產業集中程度對污染稅的影響僅僅受到需求曲線的曲度之影響，若  $p'' > 0$ ，則  $dt/d\text{Var}(c_i) < 0$ ，反之，若  $p'' < 0$ ，則  $dt/d\text{Var}(c_i) > 0$ 。

上述結果的經濟意涵如下。首先，當廠商為「聚集型廠商」時 ( $\mu = 0$ )，污染對環境造成的損害會隨著總產量提高而急遽上升，若平均邊際成本不變，污染損害亦維持不變。由輔理1 得出總產量的變化與邊際成本之平均有



**表 1 分散型廠商下, 市場集中度對污染稅之影響**

需求的曲度 污染損害的係數	$p'' < 0$	$p'' > 0$
$\delta > -p'$	-	+
$\delta < -p'$	+	-

關, 與成本變異無關、亦與產業集中度無關。因此, 給定總產量不變下, 產業集中程度的變化對污染損害不會造成影響。另一方面, 給定平均邊際成本不變, 當市場集中度提高時, 若需求曲線凸向(凹向)原點, 稅率提高會使低成本廠商減少的產量比高成本廠商要來得多(少)。因此, 需求曲線凸向(凹向)原點時, 市場集中度提高會使污染稅對產業的生產效率造成損失(好處)。換言之, 當廠商為聚集型時, 生產效率效果產生了重要的作用, 亦因生產效率效果的影響, 所以當需求曲線凸向(凹向)原點時, 隨著產業集中程度提高, 污染稅應該要愈小(大)。我們將此一論述寫成下列命題。

**命題 4** 給定污染損害函數為二次式, 若廠商為「聚集型廠商」, 則當需求曲線凸向(凹向)原點時, 隨著產業集中程度提高, 污染稅會愈小(大)。

命題 4 得出的結果與命題 2 的結果是一致的。簡言之, 當廠商為聚集型廠商時, 不論污染損害函數為一次式或二次式, 市場集中度與污染稅之關係皆是視需求曲線的曲度而定, 並不會受到污染損害函數的型式之影響。

接下來, 當廠商為「分散型廠商」時(即  $\mu = 1$ ),  $\text{sgn}[dt/d\text{Var}(c_i)] = \text{sgn}[p''Q^2(p' + \delta)]$ , 代表產業集中度對污染稅的影響不僅受到需求曲線的曲度之影響, 污染損害係數的大小也會有作用。當  $p'' > 0$  時, 若污染損害係數相對大(即  $\delta > -p'$ ), 則  $dt/d\text{Var}(c_i) > 0$ , 若污染損害係數相對小(即  $\delta < -p'$ ), 則  $dt/d\text{Var}(c_i) < 0$ 。  $p'' < 0$  的情形亦可類推, 我們以表 1 來整理分散型廠商下市場集中度對污染稅的影響。

表 1 中的正號(負號)表示市場集中度對污染稅有正向(負向)影響。此符號之經濟意義如下。當廠商屬於「分散型廠商」時(即  $\mu = 1$ ), 污染對環境造成的損害並非隨著總產量變化而變化, 而係隨著個別廠商的產量提高而急遽上升。因此, 即便產業的總產量不變, 當市場集中度發生變化時, 污染損



害會隨之發生變化。

當市場集中度愈大時，各家廠商的生產數量之差異愈大，污染造成的環境損害也會愈大，且隨著污染損害係數( $\delta$ )愈大，污染對環境造成的損害亦會愈大。所以，當廠商為「分散型廠商」( $\mu = 1$ )時，給定需求曲線凸向原點的情況下，有兩個效果會彼此作用：第一，課稅對生產效率造成的損失會隨著市場集中度提高而變大；第二，環境損害會隨著市場集中度提高而變嚴重，而課稅有助於減少污染對環境造成的損害。因此，若污染損害係數較大(較小)，即 $\delta > (<) - p'$ ，當市場集中度提高時，課稅使污染減少的效果會大於(小於)課稅對生產效率造成損失的效果，故市場集中度提高，污染稅也會愈高(愈低)。相反的，當需求曲線凹向原點時，市場集中度提高時，課稅使生產效率提升同時課稅會使污染損害減少，因此，當污染損害的係數較大(較小)時，即 $\delta > (<) - p'$ ，市場集中度愈大污染稅率會愈小(大)。我們將上述寫成命題5。

**命題 5** 給定污染損害函數為二次式，在「分散型廠商」下，當需求曲線凸向原點時，若污染損害係數( $\delta$ )大於(小於) $-p'$ ，則污染稅應隨著市場集中度提高而提高(下降)。反之，當需求曲線凹向原點時，若污染損害係數( $\delta$ )大於(小於) $-p'$ ，則市場集中度愈高、污染稅應愈低(愈高)。

比較命題4與命題5，我們得出污染損害函數為二次式的情形下，產業集中度愈高的時候，污染稅未必會愈高，污染稅提高或降低必須視需求曲線的曲度與廠商的分佈型態是聚集的、或是分散的而定。當需求曲線凸向(凹向)原點時，若廠商為「聚集型」，則隨著產業集中程度提高，污染稅會愈提高(下降)；若廠商為「分散型」，則污染損害係數大於 $-p'$ 的情況下，隨著市場集中度提高，污染稅應提高(下降)。

#### 4. 模型延伸與討論

上述的分析有許多擴展的空間。首先，本文假設政府對所有廠商課徵單一稅率，實務上的課稅方式不見得是一視同仁、而往往為累進稅率制度；其次，本文假設所有地區的邊際污染損害係數都一樣，實際上廠商所造成的邊際污染



損害係數不見得完全相同;此外,大部份的污染或多或少具有跨越城市界線或跨越國家界線的性質,因此跨界污染的討論亦對環境政策的研擬有相當的重要性。有鑑於此,本節給定污染損害為二次式的情形下,延伸探討三個情境,其一為政府對廠商課徵完全差別化的污染稅率的情形,其二為邊際污染損害係數不同的情形,最後是污染會跨界時的情形。<sup>16</sup>

#### 4.1 完全差別的污染稅

當政府課徵完全差別化的污染稅時,廠商的利潤式如(1)式,廠商利潤極大化的一階條件如(2)式,惟兩式中的單一稅率 $t$ 改為 $t_i$ 。利用Cramer法則可得差別稅率對廠商產量的影響。<sup>17</sup>

利用回溯法,我們直接進入環境政策的分析。當政府對廠商課徵完全差別的污染稅時,社會福利函數如下:

$$\max_{t_i} SW = \sum_{i=1}^n \pi^i + CS + \sum_{i=1}^n t_i q_i - \frac{\delta}{2} \left( \sum_{i=1}^n q_i^2 \right) \mu - \frac{\delta}{2} \left( \sum_{i=1}^n q_i \right)^2 (1 - \mu). \quad (15)$$

而(15)式與(11)式之區別僅在於等號右邊第三項的稅收收入係對每家廠商課徵不同的稅率。福利極大化的一階條件如下:

$$\begin{aligned} \frac{dSW}{dt_i} = & -p'' \sum_{k=1}^n q_k^2 \frac{dQ}{dt_i} - 2p' \sum_{k=1}^n q_k \frac{dq_k}{dt_i} - p'Q \frac{dQ}{dt_i} + q_i + \sum_{k=1}^n t_k \frac{dq_k}{dt_i} \\ & - \delta \left( \sum_{k=1}^n q_k \frac{dq_k}{dt_i} \right) \mu - \delta Q \frac{dQ}{dt_i} (1 - \mu), \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (16)$$

令(16)式等於零,再利用Cramer法則、Laplace展開及矩陣行列式之降階運算,我們可由(16)式得到最適差別化稅率如下:<sup>18</sup>

$$t_i = (p' + \delta\mu)q_i + \delta Q(1 - \mu), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

<sup>16</sup> 我們感謝兩位匿名審查人的寶貴建議,這些建議豐富了本文內容。

<sup>17</sup> 請參見附錄2(-)之比較靜態分析。

<sup>18</sup> 請參見附錄2(-)之求解過程。



(17) 式的結果顯示, 當廠商為聚集型 ( $\mu = 0$ ) 時, 個別廠商的稅率為  $t_i = p'q_i + \delta Q$ ; 當廠商為分散型 ( $\mu = 1$ ) 時, 個別廠商的稅率為  $t_i = p'q_i + \delta q_i$ 。因此, 個別廠商的稅率結構在兩種分佈型態下皆包含兩項效果, 前項效果為矯正不完全競爭市場扭曲的效果, 其值為負, 以及後項為矯正污染損害的效果, 其值為正。前項效果在兩種廠商的分佈型態下是相同的, 後項效果則因分佈型態而有差別; 當廠商為聚集型時, 污染損害效果以整個產業的產量為權數, 反映在污染稅率結構中即為整個產業的產量, 廠商為分散型時, 污染損害效果以個別廠商的產量為權數反映在稅率結構中。

此外, 根據 (17) 式, 我們可進一步觀察個別廠商間稅率的差異。在聚集型之下, 兩廠商  $i$ 、 $j$  的污染稅率差為  $t_i - t_j = p'(q_i - q_j)$ , 因此, 若  $q_i > q_j$ , 則  $t_i < t_j$ , 表示產量較大的廠商, 其負擔的稅率低於產量較小的廠商, 此乃因為在聚集型之下, 對個別廠商矯正污染損害效果 ( $\delta Q$ ) 相同, 而矯正不完全競爭扭曲的負向效果 ( $p'q_i$ ) 隨產量的增加而變大之故。在分散型之下, 兩廠商  $i$ 、 $j$  的污染稅率差為  $t_i - t_j = (p' + \delta)(q_i - q_j)$ , 因此, 在  $\delta > (=, <) -p'$  之下, 若  $q_i > q_j$ , 則  $t_i > (=, <) t_j$ , 此式表示在污染損害較大 ( $\delta > -p'$ ) 之下, 產量較大的廠商, 應負擔較高的稅率; 反之, 在污染損害較小 ( $\delta < -p'$ ) 之下, 產量較大的廠商, 應負擔較低的稅率。此乃因為對個別廠商矯正污染損害效果 ( $\delta q$ ) 及矯正不完全競爭扭曲的效果 ( $p'q$ ) 皆不相同, 前項效果使產量較大的廠商應負擔較高的稅率, 而後項卻使產量較大的廠商應負擔較低的稅率, 當前項效果大(小)於後項時, 產量較大的廠商應負擔較高(低)的稅率。

以上結果顯示, 當污染損害函數為二次式時, 若政府對污染廠商採取完全差別之污染稅政策時, 廠商的分佈型態會影響差別稅率結構, 而需求曲線的曲度或者是市場集中度則不會影響差別污染稅。

在污染損害為二次式下。我可進一步根據 (17) 式與 (13) 式, 比較完全差別稅率與單一稅率的差異: (1) 在完全差別稅率之下, 廠商的分佈型態會影響廠商  $i$  面對的污染稅率, 此點與單一稅率下相同; (2) 在完全差別稅率下, 市場集中度及需求曲線的曲度皆不會影響污染稅, 而在單一稅率下, 市場集中度及需求曲線的曲度皆會影響污染稅稅率。

綜合上述, 我們提出命題 6。



**命題 6** 給定污染損害為二次式, 當政府對污染廠商採取完全差別之污染稅時, 需求曲線的曲度或者是市場集中度不會影響完全差別稅的稅率結構, 而廠商的分佈型態則會影響完全差別稅的稅率結構。在廠商為聚集型之下, 產量愈高的廠商應負擔較低的稅率; 在廠商為分散型之下, 若污染的損害較大(小), 則產量愈高的廠商應負擔較高(低)的稅率。

命題 6 所得到的結果, 可與 Van Long and Soubeyran (2005) 一文(以下簡稱 VLS) 作一比較。VLS 一文假設污染損害函數為一次式下, 考慮了諸多因素來分析完全差別化之污染稅(見該文 431 頁(26) 式), VLS 考慮的因素包括運輸成本、污染損害參數、生產的邊際成本、消費者權重、社會的徵稅成本等。本文分別在污染損害為一次式及二次式之下, 將廠商分佈型態納入考慮, 探討政府的污染稅。VLS 在一次式污染損害下得到的結果是, 當各家廠商排放的污染量不相同時, 最適污染稅並非各廠一致的, 而會隨著個別廠商的產量調整, 該文稱此污染稅具有選擇性懲罰性質 (property of selective penalization)。雖然 VLS 一文與本文命題 6 皆提出污染稅會隨著個別廠商的產量而調整的性質, 但是本文異於 VLS 最主要的貢獻在於本文顯示了廠商的分佈型態與最適污染稅率的關聯性, 不論差別性稅率或單一稅率, 廠商的分佈型態皆對污染稅率有影響(見命題 3 與命題 6)。<sup>19</sup> 除了上述外, 本文亦在污染損害為二次式之下, 利用數字模擬來比較不同分佈型態的廠商、政府的單一及完全差別稅制下的各項福利效果。為節省篇幅, 模擬結果及分析請參考附錄 3 以及附表 1 及附表 2, 結果顯示, 與本文的模型提出的各命題相符, 廠商的分佈型態不同、政府的稅制都會對各項福利產生關鍵性的影響。

## 4.2 污染損害係數

給定污染損害為二次式下, 當各廠商對環境造成的污染損害係數不同時, 廠商的競爭階段仍如(1) 式到(6) 式, 依回溯法進入環境政策之分析階段。當各廠商造成的污染損害係數不同時, (11) 式之社會福利函數進一步調整如下:

---

<sup>19</sup> 雖然本文在差別化稅率下與 Van Long and Soubeyran (2005) 皆得到清楚確定的結果, 然而由實務角度而言, 對每一個廠商皆課徵不同的污染稅可能較不易實行。相對而言, 廠商的型態是聚集的或分散的可明顯判知, 對廠商採取無差別的政策或許較不會引起廠商的反彈。



$$\max_t SW = \sum_i \pi^i + CS + tQ - \left[ \frac{1}{2} \left( \sum_i \gamma_i q_i^2 \right) \mu + \frac{1}{2} \left( \sum_i \gamma_i q_i \right)^2 (1 - \mu) \right], \quad (18)$$

其中， $\gamma_i$  刻畫的是廠商  $i$  對環境造成的損害，每一家廠商對環境造成的損害可能不相同。當廠商的分佈為分散型時，廠商造成的環境污染損害為  $(\sum_i \gamma_i q_i^2)/2$ ，當廠商為聚集型時，其造成的環境損害為  $(\sum_i \gamma_i q_i)^2/2$ 。

(18) 式對污染稅微分可得社會福利極大化的一階條件如下：

$$\begin{aligned} \frac{dSW}{dt} = & -p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} - p'' \sum_i q_i^2 \frac{dQ}{dt} - p' Q \frac{dQ}{dt} + t \frac{dQ}{dt} + Q \\ & - \sum_i \gamma_i q_i \frac{dq_i}{dt} \mu - \sum_i \gamma_i q_i \sum_i \gamma_i \frac{dq_i}{dt} (1 - \mu). \end{aligned} \quad (19)$$

令 (19) 式等於零，利用 (6a)、(6b) 兩式化簡可得污染損害係數不同下的污染稅如下：

$$\begin{aligned} t = & \frac{p'Q}{n} + \frac{p''Q^2}{n} - p''Q^2H + \mu \left( \frac{\sum_i \gamma_i q_i}{n} + \frac{p''Q \sum_i \gamma_i q_i}{np'} - \frac{p'' \sum_i \gamma_i q_i^2}{p'} \right) \\ & + (1 - \mu) \sum_i \gamma_i q_i \left( \frac{\sum_i \gamma_i}{n} + \frac{p''Q \sum_i \gamma_i}{np'} - \frac{p'' \sum_i \gamma_i q_i}{p'} \right). \end{aligned} \quad (20)$$

由 (20) 可知污染損害係數不同時，污染稅的結構變得較為複雜，但仍可知污染稅仍會受到廠商分佈的類型 ( $\mu$ ) 的影響。

### 4.3 跨界污染

給定污染損害為二次式下，當污染會跨界時，廠商的競爭階段仍如 (1) 式到 (6) 式所分析，依回溯法我們直接分析環境政策。當污染會跨界造成損害時，(11) 式之社會福利函數調整如下：<sup>20</sup>

<sup>20</sup> 此小節之跨界污染係指地區與地區之間的跨界污染，若污染會由一國影響到另一國家的跨界污染，此情形不在本文分析之列，有興趣的讀者可向作者索取此部分之分析。此外，給定跨界污染的情形，在分散型之下，若考慮每個廠商跨界污染的權數不同，而聚集型之下跨界污染的權數相同，則令 (20) 式之  $\mu = 1$  即為每個廠商跨界污染的權數不同時之污染稅率，令 (23) 式之  $\mu = 0$  即為聚集型之下跨界污染的權數相同之污染稅率。



$$\max_t SW = \sum_i \pi^i + CS + tQ - (1 + \theta) \left[ \frac{\delta}{2} \left( \sum_i q_i^2 \right) \mu + \frac{\delta}{2} \left( \sum_i q_i \right)^2 (1 - \mu) \right], \quad (21)$$

其中  $\theta$  係刻畫污染跨界所造成的環境損害。當廠商的分佈為分散型時，廠商造成的環境污染損害為  $(\delta/2)(\sum_i q_i^2)$ ，其污染跨界影響其他地區進而造成的環境損害為  $\theta(\delta/2)(\sum_i q_i^2)$ ；當廠商為聚集型時，其造成的環境損害為  $(\delta/2)(\sum_i q_i)^2$ ，這些污染跨界進而造成其他地區的環境損害，此部份損害為  $\theta(\delta/2)(\sum_i q_i)^2$ 。

(21) 式對污染稅微分可得福利極大化的一階條件如下：

$$\begin{aligned} \frac{dSW}{dt} = & -p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} - p'' \sum_i q_i^2 \frac{dQ}{dt} - p'Q \frac{dQ}{dt} + t \frac{dQ}{dt} + Q \\ & - (1 + \theta) \delta \sum_i q_i \frac{dq_i}{dt} \mu - (1 + \theta) \delta Q \frac{dQ}{dt} (1 - \mu). \end{aligned} \quad (22)$$

令上式等於零，利用 (6a)、(6b) 兩式可得污染會跨界時的污染稅率如下：

$$\begin{aligned} t = & \frac{p'Q}{n} + \frac{p''Q^2}{n} - p''Q^2H + \delta(1 + \theta)\mu \left( \frac{Q}{n} + \frac{p''Q^2}{np'} - \frac{p''Q^2H}{p'} \right) \\ & + \delta Q(1 + \theta)(1 - \mu). \end{aligned} \quad (23)$$

由 (23) 式可知，在污染跨界的情形下，廠商分佈的類型 ( $\mu$ ) 仍會影響污染稅，市場集中度 ( $H$ ) 也對污染稅有影響。

## 5. 結論與建議

本文利用一個 Cournot 數量競爭之寡占模型，探討市場集中度與環境污染型式對一國環境政策之影響。由本文分析，我們歸納出污染損害函數的形式（一次式、二次式）、廠商的分佈型態 ( $\mu$ )、污染的損害係數 ( $\delta$ )、需求曲線的曲度 ( $p''$ ) 以及產業的集中程度 ( $H$ ) 都會交互影響環境政策。

當污染損害函數為二次式時，其結果與污染損害函數為一次式時截然不



同。污染損害函數為一次式時，環境政策並不會因廠商為聚集型廠商或是分散型廠商而有所不同。然而，給定污染損害函數為二次式，在線性需求下，聚集型廠商所面對的污染稅較分散型廠商所面對污染稅要來得大。就污染稅而言，政府對聚集型廠商干預的空間較分散型廠商來得大。

此外，傳統看法認為市場愈趨近獨占時（同時意謂著市場集中度愈高），產量愈小、污染損害也愈少，因此，課稅幅度亦應愈低。本文得出的結果則不見得是如此單向的結果。換言之，不見得市場集中愈高、政府便愈應該課較低的稅，相對的，政府必須視廠商型態為聚集或分散、市場需求的曲度等因素來決定政策的幅度。當廠商為「聚集型廠商」，若需求曲線凸向（凹向）原點，則隨著產業集中程度提高，污染稅應該要愈小（大）。另一方面，當廠商為「分散型廠商」，若需求曲線凸向原點，則污染損害係數相對大（小）時，市場集中度提高污染稅應提高（減小）；反之，當廠商為「分散型廠商」，若需求曲線凹向原點，則污染損害係數相對大（小）時，市場集中度提高污染稅應下降（提高）。

就我們所知，在文獻上尚未有學者兼顧污染稅、廠商分佈的型態、污染損害的型式以及市場集中度的議題提出討論，本文針對此一議題之試探分析得到許多與以往不同的結論，這些結論可以作為政府施行環境政策之參考。最後，本文仍有許多擴展的空間，例如：對政府而言鼓勵廠商聚集或者分散對社會福利較有利，政府課徵單一稅率或者差別稅率較能嘉惠消費者等等，這些議題值得學者進一步研究。



## 附錄 1

本附錄在污染損害為一次式下推導最適污染稅率。

首先利用 (2) 式之一階條件, 代入 (7) 式的社會福利之定義, 可得福利如下:

$$\max_t SW = -p' \sum_i q_i^2 + \left( \int_0^Q p(x) dx - pQ \right) + tQ - \frac{\delta}{2} \sum_i q_i.$$

社會福利極大化的一階條件如下:

$$\frac{dSW}{dt} = -p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} - p'' \sum_i q_i^2 \frac{dQ}{dt} - p'Q \frac{dQ}{dt} + t \frac{dQ}{dt} + Q - \frac{\delta}{2} \frac{dQ}{dt} = 0.$$

令上式等於零得出污染稅如下:

$$t = \frac{\left( p' \sum_i 2q_i \frac{dq_i}{dt} + p'' \sum_i q_i^2 \frac{dQ}{dt} + p'Q \frac{dQ}{dt} - Q + \frac{\delta}{2} \frac{dQ}{dt} \right)}{\frac{dQ}{dt}}.$$

利用 (6) 式及  $H$  的定義加以整理可得污染稅如下:

$$t = \frac{p''Q^2}{n}(1 - nH) + \frac{p'Q}{n} + \frac{\delta}{2}.$$

## 附錄 2

附錄 2 推導污染稅為完全差別化稅率下的兩項數學過程: (一) 比較靜態, (二) 完全差別之最適稅率。



(一) 利用 Cramer 法則可得下列比較靜態:

$$\frac{dQ}{dt_i} = \frac{dQ}{dt_j} = \frac{n}{(n+1)p' + p''Q}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{A2-1})$$

$$\frac{dq_i}{dt_i} = \frac{np' + p''(Q - q_i)}{p'[(n+1)p' + p''Q]}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{A2-2})$$

$$\frac{dq_j}{dt_i} = \frac{-(p' + p''q_j)}{p'[(n+1)p' + p''Q]}, \quad i \neq j. \quad (\text{A2-3})$$

(二) 將 (16) 式整理如下:

$$\begin{bmatrix} \frac{dq_1}{dt_1} & \frac{dq_2}{dt_1} & \dots & \frac{dq_n}{dt_1} \\ \frac{dq_1}{dt_2} & \frac{dq_2}{dt_2} & \dots & \frac{dq_n}{dt_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dq_1}{dt_n} & \frac{dq_2}{dt_n} & \dots & \frac{dq_n}{dt_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_1} + \delta(1 - \mu)Q \frac{dQ}{dt_1} \\ (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_2} + \delta(1 - \mu)Q \frac{dQ}{dt_2} \\ \vdots \\ (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_n} + \delta(1 - \mu)Q \frac{dQ}{dt_n} \end{bmatrix}.$$

利用 Cramer 法則可得下式:

$$t_i = \frac{D_i}{D}, \quad (\text{A2-4})$$

其中,  $D$  為行列式值,  $D_i$  為第  $i$  行被替代掉的行列式值。

(A2-4) 式中, 利用同減一列不影響行列式值的特性加以簡化, 再利用 Laplace 展開降階, 分母  $D$  求得如下:



$$\begin{aligned}
 D &= \begin{vmatrix} \frac{dq_1}{dt_1} & \frac{dq_2}{dt_1} & \dots & \frac{dq_n}{dt_1} \\ \frac{dq_1}{dt_2} & \frac{dq_2}{dt_2} & \dots & \frac{dq_n}{dt_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dq_1}{dt_n} & \frac{dq_2}{dt_n} & \dots & \frac{dq_n}{dt_n} \end{vmatrix} \\
 &= \begin{vmatrix} \frac{1}{p'} + \frac{p' + pq_1}{-p'((n+1)p' + p''Q)} & \frac{p' + p''q_2}{-p'((n+1)p' + p''Q)} & \dots & \frac{p' + p''q_n}{-p'((n+1)p' + p''Q)} \\ \frac{1}{-p'} & \frac{1}{p'} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{-p'} & 0 & \dots & \frac{1}{p'} \end{vmatrix} \\
 &= \left(\frac{1}{p'}\right)^{n-1} \frac{1}{(n+1)p' + p''Q}.
 \end{aligned}$$

當  $i = 1$  時, (A2-4) 式分子的部份類似地利用行列式值的特性加以簡化, 再利用 Laplace 展開降階, 可得下式:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \begin{vmatrix} (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_1} + \delta(1-\mu)Q \frac{dQ}{dt_1} \frac{dq_2}{dq_1} \dots \frac{dq_n}{dt_1} \\ (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_2} + \delta(1-\mu)Q \frac{dQ}{dt_2} \frac{dq_2}{dt_2} \dots \frac{dq_n}{dt_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (p' + \delta\mu) \sum_{i=1}^n q_i \frac{dq_i}{dt_n} + \delta(1-\mu)Q \frac{dQ}{dt_n} \frac{dq_2}{dt_n} \dots \frac{dq_n}{dt_n} \end{vmatrix} \\
 &= \begin{vmatrix} (p' + \delta\mu) \left[ \frac{q_1}{p'} - \frac{p'Q + p'' \sum_{i=1}^n q_i^2}{p'((n+1)p' + p''Q)} \right] + \delta(1-\mu)Q \frac{dQ}{dt_1} & \frac{p' + p''q_2}{-p'((n+1)p' + p''Q)} & \dots & \frac{p' + p''q_n}{-p'((n+1)p' + p''Q)} \\ \frac{(p' + \delta\mu)(q_2 - q_1)}{p'} & \frac{1}{p'} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(p' + \delta\mu)(q_n - q_{n-1})}{p'} & 0 & \dots & \frac{1}{p'} \end{vmatrix} \\
 &= \frac{(p' + \delta\mu)q_1 + \delta(1-\mu)Q}{(n+1)p' + p''Q} \left(\frac{1}{p'}\right)^{n-1}.
 \end{aligned}$$



因此，我們可求得 (A2-4) 式的最適差別稅率如下：

$$t_i = (p' + \delta\mu)q_i + \delta Q(1 - \mu).$$

### 附錄 3

令市場需求為  $p = 10 - b(q_1 + q_2 + q_3)$ ，給定污染損害為二次式，附表 1 及附表 2 在廠商為分散型與聚集型之下，模擬三家成本相異的廠商面對單一環境稅或差別環境稅，各部門的剩餘或福利數值。由附表 1 與附表 2 的模擬結果得到單一稅率下，聚集型廠商面對的污染稅大於分散型廠商面對的污染稅（命題 3 成立），此外，分散型廠商面對的污染稅視污染損害係數（ $\delta$ ）與需求的斜率而定，聚集型廠商面對的污染稅視污染損害係數（ $3\delta$ ）與需求的斜率而定，此結果亦驗證了 (13) 式。

進一步比較附表 2 可知廠商為分散型時與聚集型時各部門在不同稅制下的福利表現：當廠商為分散型時，在稅率方面，單一稅率等於差別稅率之平均，在產量與消費者剩餘方面，不論是單一稅制或差別稅制，市場的總產量相同、消費者剩餘也相同，在生產者剩餘方面，若  $\delta$  大於（小於）需求線的斜率，單一稅制下的生產者剩餘大於（小於）差別稅制下的生產者剩餘，在福利方面，差別稅率下的社會福利高於單一稅率下的社會福利；至於污染損害方面的表現與生產者剩餘同，皆視  $\delta$  與需求線斜率的相對大小，而在稅收方面的表現則與生產者剩餘相反，若  $\delta$  大於（小於）需求線的斜率，單一稅制下的稅收會小於（大於）差別稅制下的稅收。另一方面，當廠商為聚集型時，在稅率方面，單一稅率會大於差別稅率之平均，在產量與消費者剩餘方面，單一稅率下的總產量與消費者剩餘皆低於差別稅率下的水準，在生產者剩餘方面，若  $\delta$  大於需求線的斜率，單一稅制下的生產者剩餘小於差別稅制下的生產者剩餘，在福利方面，差別稅率的社會福利小於單一稅率的社會福利。<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> 當政府設完全差別的污染稅時，若政府的最適政策可能會讓一些成本高的廠商退出市場，此時廠商的家數不同，本文分析的市場結構就會有前後不一致的問題。因此，在進行模擬時，我們加上了讓所有廠商不退出市場的條件，即附表 2 中廠商利潤等於零；讓所有廠商不退出市場的條件亦造成差別稅率下的社會福利低於單一稅率下的社會福利。



附表 1  $c_1 = 2, c_2 = 3$  及  $c_3 = 5$  下, 分散型廠商面對不同稅制下各部門之福利

型態	稅制	$t$	$Q_i$ , CS	$\pi_i$	tax revenue, pollution damage	welfare
分散型	單一		$20$	$\pi_1 = \frac{16(8b + \delta)^2}{9b(3b + \delta)^2}$	$\frac{400(\delta - b)}{3(3b + \delta)^2}$	$\frac{242b^2 - 7b\delta - 7\delta^2}{3b^2(3b + \delta)}$
			$\frac{20(\delta - b)}{3(3b + \delta)}$	$\pi_2 = \frac{(23b + \delta)^2}{9b(3b + \delta)^2}$	$\frac{\delta(263b^2 + 42b\delta + 7\delta^2)}{3b^2(3b + \delta)^2}$	
			$\frac{200b}{(3b + \delta)^2}$	$\pi_3 = \frac{25(\delta - b)^2}{9b(3b + \delta)^2}$		
完全 差別	單一		$20$	$\pi_1 = \frac{16b(b + 2\delta)^2}{\delta^2(3b + \delta)^2}$	$\frac{2(\delta - b)(21b^2 + 14b\delta + 69\delta^2)}{\delta^2(3b + \delta)^2}$	$\frac{69\delta + 7b}{\delta(3b + \delta)}$
			$\frac{4(\delta - b)(2\delta + b)}{\delta(3b + \delta)}$	$\pi_2 = \frac{b(b + 7\delta)^2}{\delta^2(3b + \delta)^2}$	$\frac{21b^2 + 14b\delta + 69\delta^2}{\delta(3b + \delta)^2}$	
			$\frac{(\delta - b)(7\delta + b)}{\delta(3b + \delta)}$	$\pi_3 = \frac{25b(b - \delta)^2}{\delta^2(3b + \delta)^2}$		
差別	單一		$0$	$\frac{14(\delta - b)(b + \delta)}{3b\delta^2}$	$-\frac{14(\delta - b)}{3\delta^2}$	$-\frac{7(b - \delta)^2}{3b^2\delta}$
			$0$		$\frac{7(\delta - b)(\delta + b)}{3b\delta^2}$	

註: 「差值」係單一稅制下之數值減去完全差別稅制下之數值, 差別稅制下的稅率以及兩種稅制下的利潤以平均值計算之。



附表 2  $c_1 = 2, c_2 = 3$  及  $c_3 = 5$  下, 聚集型廠商面對不同稅制下各部門之福利

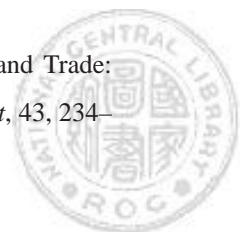
型態	稅制	$t$	$Q_i$ , CS	$\pi_i$	tax revenue, pollution damage	welfare
聚集型	單一		$\frac{20}{3(b+\delta)}$	$\pi_1 = \frac{16(8b+3\delta)^2}{81b(b+\delta)^2}$	$\frac{400(3\delta-b)}{27(b+\delta)^2}$	$\frac{2(21\delta+121b)}{9b(b+\delta)}$
			$\frac{20(3\delta-b)}{9(b+\delta)}$	$\pi_2 = \frac{(23b+3\delta)^2}{81b(b+\delta)^2}$	$\frac{\delta(263b^2+126b\delta+63\delta^2)}{27b^2(b+\delta)^2}$	
			$\frac{200b}{9(b+\delta)^2}$	$\pi_3 = \frac{25(b-3\delta)^2}{81b(b+\delta)^2}$		
完全 差別		$t_1 = \frac{8(\delta-2b)}{b+\delta}$	$\frac{12}{b+\delta}$	$\pi_1 = \frac{144b}{(b+\delta)^2}$	$\frac{96(\delta-2b)}{(b+\delta)^2}$	$\frac{24}{b+\delta}$
		$t_2 = \frac{7\delta-5b}{b+\delta}$	$\frac{72b}{(b+\delta)^2}$	$\pi_2 = 0$	$\frac{72\delta}{(b+\delta)^2}$	
		$t_3 = \frac{5\delta-7b}{b+\delta}$		$\pi_3 = 0$		
差值		$\frac{-16}{3(b+\delta)}$	$\frac{2(63\delta^2+126b\delta-1681b^2)}{27b(b+\delta)^2}$	$\frac{16(299b-87\delta)}{27(b+\delta)^2}$	$\frac{2(21\delta+13b)}{9b(b+\delta)}$	
		$\frac{-448b}{9(b+\delta)^2}$		$\frac{\delta(63\delta^2+126b\delta-1681b^2)}{27b^2(b+\delta)^2}$		

註: 同附表 1。



## 參考文獻

- 王佳琪與邱俊榮 (2010), 「存在環境污染下的公營廠商最適民營化政策」, 《經濟論文》, 38, 61–84. [Wang, C.-C. and J.-R. Chiou (2010), “The Optimal Privatization Policy in the Presence of Environmental Damage,” *Academia Economic Papers*, 38, 61–84.]
- Antweiler, W., B. R. Copeland, and S. M. Taylor (2001), “Is Free Trade Good for the Environment?” *American Economic Review*, 91, 877–908.
- Barrett, S. (1994), “Strategic Environmental Policy and International Trade,” *Journal of Public Economics*, 54, 325–338.
- Benarroch, M. and H. Thille (2001), “Transboundary Pollution and the Gains from Trade,” *Journal of International Economics*, 55, 139–159.
- Bergstrom, T. and H. Varian (1985), “When Are Nash Equilibria Independent of the Distribution of Agents’ Characteristics?” *Review of Economic Studies*, 52, 715–718.
- Bhattacharya, R. and R. Pal (2010), “Environmental Standards as Strategic Outcomes: A Simple Model,” *Resource and Energy Economics*, 32, 408–420.
- Cassing, J. and T. Kuhn (2003), “Strategic Environmental Policies When Waste Products Are Tradable,” *Review of International Economics*, 11, 495–511.
- Cole, M. A., A. J. Rayner, and J. M. Bates (1997), “The Environmental Kuznets Curve: An Empirical Analysis,” *Environment and Development Economics*, 2, 401–416.
- Conrad, K. (1993), “Taxes and Subsidies for Pollution-Intensive Industries as Trade Policy,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 25, 121–135.
- Copeland, B. (1996), “Pollution Content Tariffs, Environmental Rent Shifting and the Control of Cross-Border Pollution,” *Journal of International Economics*, 40, 459–476.
- Copeland, B. and S. Taylor (1995), “Trade and Transboundary Pollution,” *American Economic Review*, 85, 716–737.
- Dijkstra, B., M. Anuj, and M. Arijit (2006), “Environmental Regulation: An Incentive for FDI,” *Research Paper Series*, 38, 1–28.
- Eliste, P. and P. G. Fredriksson (2002), “Environmental Regulations, Transfers, and Trade: Theory and Evidence,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 43, 234–



250.

Ferrara, I., M. Paul, and H. M. Yildiz (2009), “Trading Rules and the Environment: Does Equal Treatment Lead to a Cleaner World?” *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, 206–225.

Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1995), “Economic Growth and the Environment,” *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353–377.

Hamilton, S. and T. Requate (2004), “Vertical Structure and Strategic Environmental Trade Policy,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 47, 260–269.

Hoorweg, D., L. Sugar, and C. L. T. Gomez (2011), “Cities and Greenhouse Gas Emissions: Moving Forward,” *Environment and Urbanization*, 23, 207–227.

Kayalica, M. O. and S. Lahiri (2005), “Strategic Environmental Policies in the Presence of Foreign Direct Investment,” *Environmental and Resource Economics*, 30, 1–21.

Lai, Y. B. and C. H. Hu (2008), “Trade Agreements, Domestic Environmental Regulation, and Transboundary Pollution,” *Resource and Energy Economics*, 30, 209–228.

Levin, D. (1985), “Taxation within Cournot Oligopoly,” *Journal of Public Economics*, 27, 281–290.

Ludema, R. D. and I. Wooton (1994), “Cross-Border Externalities and Trade Liberalization: The Strategic Control of Pollution,” *Canadian Journal of Economics*, 27, 950–966.

Markusen, J. R. (1975), “International Externalities and Optimal Tax Structure,” *Journal of International Economics*, 5, 15–29.

Montero, J. P. (2002), “Permits, Standards, and Technology Innovation,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 44, 23–44.

Poyago-Theotoky, J. A. (2007), “The Organization of R&D and Environmental Policy,” *Journal of Economic Behavior and Organization*, 62, 63–75.

Rauscher, M. (1995), “Environmental Regulation and the Location of Polluting Industries,” *International Tax and Public Finance*, 2, 229–244.

Requate, T. (2005), “Dynamic Incentives by Environmental Policy Instruments: A Survey,” *Ecological Economics*, 54, 175–195.

Salant, S. and G. Shaffer (1999), “Unequal Treatment of Identical Agents in Cournot Equilibrium,” *American Economic Review*, 89, 585–604.

Segerson, K. (1988), “Uncertainty and Incentives for Nonpoint Pollution Control,” *Journal of*



*Environmental Economics and Management*, 15, 87–98.

Shafik, N. (1994), “Economic Development and Environmental Quality,” *Oxford Economic Papers*, 46, 757–773.

Tol, R. J. (1995), “The Damage Costs of Climate Change toward More Comprehensive Calculations,” *Environmental and Resources Economics*, 5, 353–374.

Van Long, N. and A. Soubeyran (1997), “Cost Heterogeneity, Industry Concentration and Strategic Trade Policies,” *Journal of International Economics*, 43, 207–220.

Van Long, N. and A. Soubeyran (2005), “Selective Penalization of Polluters: An Inf-Convol-  
ution Approach,” *Economic Theory*, 25, 421–454.



環境污染型式、市場集中度與環境政策（許淑嫻, 楊雅博 和胡均立）

## POLLUTION PATTERN, MARKET CONCENTRATION, AND ENVIRONMENTAL POLICY

**Su-Ying Hsu \***

Department of International Business  
Southern Taiwan University of Science and Technology

**Ya-Po Yang**

Institute of Business and Management  
National University of Kaohsiung

**Jin-Li Hu**

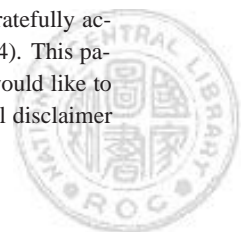
Institute of Business and Management  
National Chao-Tung University

**Keywords:** Environmental damage function, Demand function, Environmental policy,  
N-oligopoly

**JEL classification:** F12, F18

---

\* Correspondence: Su-Ying Hsu, Department of International Business, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 710, Taiwan. Tel: (06) 253-3131 ext. 5131; Fax: (06) 254-4363; E-mail: suinghsu@stust.edu.tw. The financial support of the National Science Council is gratefully acknowledged (NSC98-2410-H-218-019, NSC101-2410-H-390-034, NSC101-2410-H-009-044). This paper was presented in the 2011 Annual Meeting of the Taiwan Economic Association. We would like to thank Professor Yi Lee and two anonymous referees for their valuable comments. The usual disclaimer applies.



## ABSTRACT

*This paper analyzes how market concentration and pollution pattern affect the environmental policy in an asymmetric oligopoly. When the environmental damage function is linear, whether polluting firms are aggregate or dispersed does not affect the optimal environment policy. However, when the environmental damage function is quadratic, aggregated firms should face a higher pollution tax than dispersed firms as long as the market demand function is not too convex. Moreover, the pollution tax for aggregated firms decreases (increases) with a higher market concentration when the demand function is convex (concave). However, the pollution tax for dispersed firms increases (decreases) with a higher market concentration and a relatively large damage parameter when the demand function is convex (concave). Therefore, the pollution pattern and market concentration crucially affect the optimal environmental policy.*

