

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文

政府補助逆向供應鏈之政策分析

Modeling Government Subsidy Impacts on
Recycling Systems



研究生：王景芳

指導教授：洪一薰 博士

中華民國九十七年六月

政府補助逆向供應鏈之政策分析

Modeling Government Subsidy Impacts on
Recycling System

研究生：王景芳

Student：Ching-Fang Wang

指導教授：洪一薰 博士

Advisor：Dr. I-Hsuan Hong

國立交通大學



Submitted To Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

in

Industrial Engineering

June 2008

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

政府補助逆向供應鏈之政策分析

研究生：王景芳

指導教授：洪一薰 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所碩士班

摘要

逆向供應鏈不同於正向供應鏈，為自消費者端回到生產製造者端之網絡，其中產品壽期結束後之回收工作則為其中一環，且回收議題隨著資源損耗帶來影響環境的負面效應而逐漸受到各方重視。由經濟學者發現，兩階段政策工具同樣能夠有效減少環境的負面外部性。台灣利用兩階段政策工具運行資源回收系統已行之有年，由政府單位向相關責任業者進行課稅，提供補助給資源回收業者。台灣現行資源回收系統，由政府制訂補貼與徵收費率，但並未對補助對象加以著墨。由於資源回收系統中包括集中商、處理商以及最終分解二次料之廠商等。因此本研究發展兩階層基本資源回收系統模型，以分權式（decentralized）的角度，並依據資源回收系統中物流與金流方向之差異，分別考慮不同先行決策者（leader）與決策跟隨者（follower），以及廠商間與消費者交易之市場反應情況，探討政府之補助政策。本研究建構以 Stackelberg 模型為基礎之政府補貼費率模型，並在政府為求增加回收量之目標下，探討政府在不同補助對象政策的實施下，對於整個資源回收系統造成的影響。經由模型可證明，政府在良好補助對象選擇下，無論先行決策者為何者，皆可帶來較高之回收量。

關鍵字：逆向供應鏈、兩階段政策工具、Stackelberg 模型、政府補貼費、補助階層

Modeling Government Subsidy Impacts on Recycling Systems

Student: Ching-Fang Wang

Advisor: Dr. I-Hsuan Hong

Department of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Due to eco-awareness and legislative requirements, reverse supply chains play an important role in the disposition of end-of-life consumer products. Two-part instrument (2PI), where the government taxes manufacturers, imports, and sellers (MIS) and subsidizes for recyclers, plays a key role in driving or giving incentives to the flows of recycling items. The current recycling system in Taiwan considers the subsidy and disposal fees, but the government neglects discussion on the issue of subsidy location along a recycling chain. This research applies the Stackelberg-typed model to analyze the impact of exogenous subsidies on material flows in a decentralized recycling system where each tier considers its own interests.

The model in this research consists of the government and two-tier recyclers. The government determines the subsidy location in order to maximize the recycling quantities. According to the difference of information disclosure time, the roles of the leader and the follower may be different for upstream and downstream tiers. This research concludes the optimal subsidy policy for the government in order to achieve the maximum of recycling quantities

Keywords: Reverse supply chain; Stackelberg-typed model; Government subsidy.

謝 誌

當洪一薰老師將審定書交付至我手中，並且開展著手掌說著恭喜畢業時，當下有種不真實感產生，隨後內心卻不停浮現過去兩年的畫面而眼眶泛淚，才驚覺到自己真的畢業，甚至愛上了這個地方。

本篇論文得以順利完成，最重要的是感謝我的指導教授洪一薰博士不厭其煩的教導與督促，每當論文遭遇瓶頸甚至讓自己的心情煩躁時，老師總能邏輯性的叮嚀自己應該做到的部分，並開導以積極從容的態度面對，總扮演著亦師亦友的角色進行研究上的討論與分享，這兩年期間，總有和老師一起攜手成長的深刻感動，能由老師指導下度過碩士生涯，實為榮幸。另外還要感謝許錫美教授、陳文智教授、蘇哲平教授，在論文口試期間給予我許多寶貴的建議，令我獲益良多，亦使論文更備臻美。向以上幾位老師致上最高的敬意。

要感謝的人太多，兩年的研究生涯中，首先感謝 516 裡的小笨、威儒、617、康康，我們一起努力並分享所有酸甜苦辣至今，那都是最難得的回憶；還有 519 的所有同伴，在我感到研究倦怠時，519 都會成為我一個休息的避風港；甚至所有打球的夥伴們，總能在每星期打球的過程中，建立起我們的感情，也憑藉打球的機會釋放壓力，也相互關心彼此的近況，還有 002 的教主，你一直是我的依靠，無論是生活上或是精神上，也因為有你和小笨的支持與陪伴，讓我度過並欣然面對所有的挫敗。這兩年認識的所有人，真的感到有幸認識你們，無論是學業或是其他方面，都成為我學習的目標或調整我未來前進的方向，對我而言，你們都是意義非凡。

最後要感謝我的家人，父母親與哥哥，因為有你們的支持，我才能無後顧之憂的在學業上精進，也不時予我付出關心，未來我也會更努力，亦步亦趨的向前邁進，成為你們的驕傲。

僅誌於

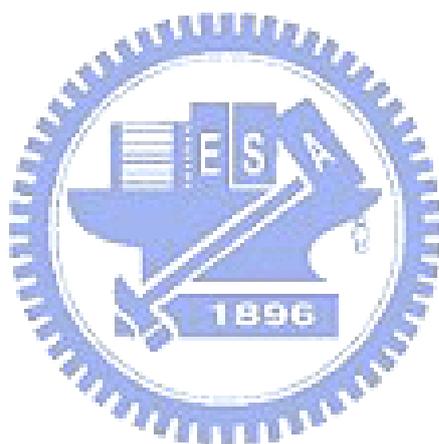
交通大學工業工程與管理學系

中華民國九十七年六月

目錄

摘要	i
ABSTRACT	ii
謝誌	iii
圖目錄	vi
表目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	5
1.3 研究方法與架構	5
第二章 文獻回顧	6
2.1 經濟誘因工具與兩階段政策工具探討	6
2.2 逆向供應鏈模型問題探討	6
2.3 台灣現行資源回收系統	8
2.4 政府補貼政策擬定問題	8
2.5 兩階段最佳化問題	10
第三章 兩階逆向供應鏈一般性模型	12
3.1 問題定義	12
3.1.1 背景	12
3.1.2 問題描述	13
3.2 研究假設	15
3.3 一般性模型符號定義	16
3.4 回收處理數量為決策變數之資源回收系統一般性模型	16
3.5 收購價格為決策變數之資源回收系統一般性模型	18
第四章 線性供給函數之逆向供應鏈模型	21
4.1 符號定義	21
4.2 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構	22
4.3 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析	24
4.3.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較	25
4.3.2 數值案例探討	30
4.4 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構	35
4.5 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析	37
4.5.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較	37
4.6 小結	39
第五章 非線性供給函數之逆向供應鏈模型	42
5.1 符號定義	42
5.2 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構	43

5.3 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析	45
5.3.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較	45
5.3.2 數值案例探討	48
5.4 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構	52
5.5 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析	54
5.5.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較	54
5.6 小結	56
第六章 結論與未來研究方向	58
6.1 結論	58
6.2 未來研究方向	60
參考文獻	62



圖目錄

圖 1 四合一制度流程圖	8
圖 2 研究問題示意圖	13
圖 3 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖	14
圖 4 兩階資源回收系統決策時間點圖 (一)	16
圖 5 兩階資源回收系統決策時間點圖 (二)	19
圖 6 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖	21
圖 7 市場價格敏感度與政府補助上游時回收量變化圖 (一)	28
圖 8 回收商決策點圖	29
圖 9 市場價格敏感度與政府補助上游回收量之變化圖 (二)	30
圖 10 限制式(4.35)與下游廠商目標函數關係圖 (一)	36
圖 11 回收量為決策變數線性模型之回收情境示意圖	40
圖 12 收購價格為決策變數線性模型之回收情境示意圖	40
圖 13 非線性兩階逆向供應鏈基本模型圖	42
圖 14 供給函數形式圖	43
圖 15 限制式與下游廠商目標函數關係圖 (二)	53
圖 16 回收量為決策變數非線性模型之回收情境示意圖	56
圖 17 收購價格為決策變數非線性模型之回收情境示意圖	57



表目錄

表 1 政府補貼對象整理表	10
表 2 兩階段最佳化問題常見求解方法	11
表 3 回收量為決策變數之線性模型求解結果	30
表 4 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 \geq \beta_2$)	33
表 5 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 < \beta_2$)	34
表 6 回收量為決策變數之非線性模型求解結果	49
表 7 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 \geq \beta_2$)	51
表 8 線性與非線性供給函數模型補助政策總整理表	60



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

在全球科技的發展，以及人口總數增加的情況下，人類對於自然資源的需求增加，使得原物料的消耗量呈現高幅度攀升的趨勢。而在自然資源日漸稀少的情況下，原物料供給減少，市場需求不降反升之情況，造成市場價格高漲。除此之外，由於工業生產越來越多，以及市場需求也變高的情況下，必然會產生更大量的廢棄物，因此環保生態是各國必須正視的問題，這也是為何許多國家開始積極在回收政策上做努力的主因，就是為了減少對於地球生態的破壞甚至達到人類永續發展的目的。永續產品的議題也成為製造商所要著重研究與關心的重點，在原物料越趨珍貴的情況下，可利用二次料配合共同生產，以減少資源耗用。產品壽期結束後之回收工作包含了多種類別，皆能為環境帶來極具正面的影響，舉例而言，紙類回收方面，使用廢紙來造紙比用原木紙漿可減少 75% 的空氣污染、35% 的水污染、60% 的用水、40% 的能源消耗；金屬回收方面，就鋁罐為例，用回收的鋁罐來製鋁，比用鋁礬土能減少 82% 的能源消耗、85% 的空氣污染、80% 水污染與 90% 的廢棄物¹。換言之，產品壽期結束後之回收工作顧名思義便是減少廢棄量，降低環境的污染，減少產品加工時所消耗之能源及資源，使資源達到永續利用的意義，這也就是為何產品回收愈受重視的原因。

產品壽期結束後之回收工作則為逆向供應鏈 (reverse supply chains) 範疇之一。逆向供應鏈為近年來愈受重視的概念之一，可視為一種自消費者端回收並進行利用與再加工的一系列活動，涵蓋以下幾個議題：

- (1) 物品維修。
- (2) 物品因瑕疵進行回收。
- (3) 現今產品生命週期過短，以致庫存過多，進行退回。

¹回收數據出處：環境教育教學講義 (http://163.20.78.180/environ_edu/index.htm)。

- (4) 產品不符消費者之需要進行退回，最明顯的例子為廠商流行以試用期來吸引消費者之消費，但恐引起過高的回收成本，因為回收後的產品可能需要再進行外觀之整理與再包裝，方可再重新銷售。
- (5) 產品報廢。
- (6) 產品壽期結束後之回收工作。

隨著環境汙染與資源耗用愈趨嚴重，除了回收工作外，綠色供應鏈亦逐漸被重視，回歸本質觀看生產層面，企業必須正視產品中內含禁用物質的回收需求（歐盟已使用立法來取代柔性勸導）²。不同於正向供應鏈（forward supply chains），在逆向供應鏈中，最初由消費者提供回收產品給回收點（collection points），再經由回收點交由集中商（consolidation points）進行分類與儲存，最終送至處理商（processing points）進行產品的分解與再利用，無法利用之部分再進行報廢。換言之，產品不再是單向輸往終端消費市場，尚需加入產品之綠色構思；消費者購買的產品也不再是用完即可隨意亂丟，而逆向回收物流，由數目者多的消費者端往回流向數目相對較少之集中商及處理商。

回收工作橫跨不同產業類型，隨著產業類別之差異，回收過程亦有所不同。Hong *et al.* (2006) 以廢棄電子商品筆記型電腦為例，消費者將欲回收之筆記型電腦運送至各地區經銷商回收點進行回收，透過回收可獲取回收獎勵金，經銷商再將回收筆記型電腦運至特定合作之集中商，集中商將來自各回收點之筆記型電腦進行分類與儲存後，再送至處理商並分解，拆解為各電腦零組件與外機殼，零件可加以利用，無法處理之部份進行報廢，二次料處理商便將可利用之部份加以加工，配合新品生產，創造有效再利用之功效。值得一提的是，在筆記型電腦回收產業中，由於各零組件具有高單價特性，透過回收再利用之處理過程，可明顯增加零組件之產品附加價值（value-added）。

² 歐盟所頒佈之 WEEE、RoHS 與 EuP 等重要指令，針對涵蓋特殊有害物質之原料加以製造限制，並且強制遵守回收法規，希望透過規範能降低有害物質對於環境與人類的危害（相關指令資訊可參考 http://europa.eu/pol/env/index_en.htm）。

在以往的文獻中，針對廢棄物回收清理費制度成效，皆有做相當多的討論，共同的結論即為「經濟誘因工具效果優於管制政策工具」（Baumol and Qates 1988），其中經濟誘因工具的代表為庇古稅（pigouvian tax）。庇古稅屬於一種環境稅，由 Pigou（1920）提出，認為政府應該根據污染物的排放量，並針對污染的行為或產品課稅，使污染者內生化環境負面外部性成本來納稅，負擔污染使環境造成危害之成本，使污染對於環境的傷害降到最低。經濟誘因的主要意義在於透過補貼或課稅的方式，來改變個人或企業的行為模式，達到自發性行為的效果，以達到環境的最適化，減少因科技發展所造成的環境負擔，這也是庇古稅的核心價值所在。然而在實務上，政策卻難以執行、量化。舉例而言，徵收開發影響稅與空汙稅，必須對於單位土地徵收金額與空氣汙染程度進行量化，其間必然需要大量蒐集資料，除了蒐集資訊的困難度外還增加了執行上的成本。

因此，對於環境工具的選擇上，產官學界開始研究其他較為可行的方案，包括對回收補貼（recycling subsidies）、對特定項目提供回收獎勵金以及對可回收之機械設備投資減稅等等。爾後學者主張使用兩階段政策工具（two-part instrument），對於生產廠商按產量課稅，以內生化外部成本，即產量愈大，廠商會由於負擔稅收成本愈多，進而減少產量，避免環境過度傷害，同時市場產品價格提升。另一方面，該產品經使用之後成為廢棄物，再利用回收補貼的方式，增加廢棄物的實際回收量，以達到環境保護之目的。Fullerton and Wolverton（1997）也證明了兩階段政策工具的效果相當於庇古稅，且這樣的回收處理費制度較容易落實且較易修正，亦有一些經濟學者證明了兩階段政策工具的經濟有效性（Danan 1993; Fullerton and Kinnaman 1995; Sigman 1995）。

台灣自民國八十七年以後，對於所有廢棄物清理法進行修訂，以列管製造與輸入業者依核定之費率百分之百繳交回收清除處理費，取消回收率處罰，成立資源回收基金，並成立廢一般廢棄物品及容器、廢機動車輛、廢輪胎、廢潤滑油、廢鉛蓄電池、農藥廢容器、廢電子電器物品及廢資訊物品等八個回收基金管理單位；接著於民國八十七年七月一日起概括承受民間八大基管單位成立「資源回收管理基金委員會」（以

下以「基管會」稱之)，透過市場經濟機制，結合產品製造體系與資源回收體系，包括「社區民眾」、「地方政府清潔隊」、「回收商」及「回收基金」，使回收管道整合共用，降低操作成本，注入政府公權力，發動全民回收運動³。

我國現行資源回收官方系統為行政院環保署，管理組織為基管會。此系統以兩階段政策工具為基礎，即為進口與相關製造責任業者向政府繳納產品最終廢棄時的回收處理費，而政府則將所徵收而來的費用成立為資源回收基金，由基管會管理，用於資源回收業者實施回收處理廢棄物品時之補貼費用，但其補貼費用龐大，原因在於台灣現行資源回收系統業者為數眾多，在採取補貼原則下，除了大量的補貼費用外，回收業者申請補貼資格，政府亦須投入相當多的人力及資金進行稽核。因此，政府補貼的方式更應受到重視，更應慎選補助廠商之性質，考慮應針對回收商或是處理商等進行補貼。

兩階段政策工具在現實世界中的執行，是否有如理論所預期，也是各界好奇所在。制度成效之議題時有所聞，除了上述之「經濟誘因工具效果優於管制政策工具」議題外，尚有「提高回收處理補貼費的經濟誘因」之問題。我國在推動兩階段工具已有十年之久，在此期間，有些學者認為經濟誘因不足，政府應該提供更高額的補貼費費用給資源回收業者，使其做好回收工作，避免環境過度汙染。但是站在政府的立場而言，提高補貼費費用反而增加更多支出；再者，政府雖制定了最適補貼與徵收費率，但對於補貼對象選擇並未加以探討。結合以上因素，政府首要應考慮透過補助不同階層廠商，補助的決策是否能夠為整個系統帶來相對較大的效益。

賽局理論中 Stackelberg 模型 (Stackelberg 1934)，參賽者間具有決策次序之關聯性。具有領導性之先行者廠商首先決策，考慮追隨者可能反應策略對自身的影響性；相對的，追隨者僅能依據先行者之決策反應其最佳策略。

由於資源回收系統中，上游、中游與下游回收處理廠商皆相互獨立，各自追求最大利潤，上游回收量大小亦受到下游廠商是否進行回收影響，下游決策也受到上游決策之牽制，故本研究採用 Stackelberg 模型為基礎，建構出政府補助資源回收模型，探

³ 出處：行政院環保署，基管會資源回收網 (<http://recycle.epa.gov.tw/index.html>)。

討現今資源回收系統面對政府補貼不同階層的政策下，會產生何種影響，這是本研究所要探討的主要問題。

1.2 研究目的

由於資源回收範疇橫跨各種產業類別，本研究對象設定於廢棄電子商品回收產業，透過建立政府補助資源回收系統模型，探討政府不同補助政策對於整個系統之影響，以作為政府制定補助政策之參考。

1.3 研究方法與架構

本研究以 Stackelberg 模型作為補貼費率模型之發展基礎理論。由於資源回收系統，包括集中商、處理商以及最終分解二次料之廠商等等，各個廠商會決定向上游收購廢棄物之收購價格，而在制定價格時，各廠商會依據上游或下游之決策而改變自己的策略。而政府所補貼階層應為上游、中游或是下游，政府應該選擇何種補貼政策，才能夠讓補助的效益達到最大。為簡化模型，本研究先期考慮兩階層（上游及下游）之問題，建立上下游各廠商之決策模型，並求解該模型之決策變數，探討政府提供補貼費用及補助不同階層對於系統的影響。

本論文分成六章，第一章為緒論，包括上述之研究背景與動機、研究目的以及研究方法與架構。第二章為文獻探討，針對國內外對於環保層面之政策執行相關文獻進行回顧，並透過逆向供應鏈及正向供應鏈異同之處，了解逆向供應鏈之基本原則與概念，以及對於模型求解方法做概略瞭解，作為接下來模型建構之基礎。第三章為兩階逆向供應鏈基本模型，其中包含問題定義、研究假設、符號定義、模型詳細之求解過程。第四章與第五章會依據不同的供給函數形式進行模型建構，建立兩種政府補助資源回收系統之雛型，並加以分析與探討其中涵義。最後為研究結論與未來研究方向。

第二章 文獻回顧

本章針對台灣資源回收系統演進背景，即經濟誘因工具與兩階段政策工具之相異處加以了解，並回顧逆向供應鏈方面模型及相關問題；再來了解台灣現行資源回收系統之發展情況，以及國內外對於政府補貼政策問題，得知政府補助政策在各國早已行之有年，但絕大多數模型致力於補助最適費率之訂定，並未針對補助對象加以探討，有鑑於此，本研究擬建構出一基礎模型，並找出最適於模型求解之基本理論。

2.1 經濟誘因工具與兩階段政策工具探討

自以往學者們對於環境政策工具的研究發現，經濟誘因工具的效果其實是優於管制經濟工具。早期經濟誘因工具代表為庇古稅，例如開徵開發影響費、空污費等，無論補貼或課稅，都將使個體將外部問題納入本身利益的計算之中，以內生化負面外部性成本。但庇古稅的缺點在於，必須在監控污染行為及量測污染程度上付出極大成本，造成庇古稅有執行上困難之處（Fullerton and Kinnaman 1995）。

因此，有許多學者提出兩階段政策工具（two-part instrument, 2PI），兩階段政策工具對生產廠商依照產量課稅，商品使用後，再以回收補貼的方式增加廢棄物之回收量。Fullerton and Wolverton（1997）驗證了實施兩階段政策工具同樣能夠達到與庇古稅一樣的功效，而不至於在市場污染資訊的蒐集與實行上，花費過多的成本。Fullerton and Wolverton（2005）也認為，兩階段政策工具的實施相較於庇古稅而言是較為理想的，除了易於執行外，亦能考慮多種兩階段政策應用模型，尤其在政府希望獲得收益的情況下，該如何配置稅收與補助額度，甚至針對不同製造廠商考慮差異化費率，以求最適社會福利。

2.2 逆向供應鏈模型問題探討

逆向供應鏈中所發生的物流、資訊流及金流，其運作之方式為相對於正向供應鏈之另外一種供應鏈形式。隨著環境汙染問題愈趨嚴重，逆向供應鏈之議題也逐漸受到重視。對於企業而言，逆向供應鏈的實施雖受到法律以及責任上之限制，但是同時也為企業本身帶來價值，除了降低物料成本，增加企業收益之外，尚能改善環境負面外

部性問題，增加企業形象。逆向供應鏈若要能順利運行，必須考慮許多因素，Dowlatshahi (2000) 歸納出逆向供應鏈有七種成功運作之重要因子，其一為外部因子，也就是涉及消費者層面的因素，包含消費者回收意願等；其餘六個為內部因子，包括成本與利潤分析、運輸問題、倉儲問題、供應鏈管理、再製暨回收問題等。現今基管會制定徵收或補貼費費率，主要受到消費者對於廢棄物回收意願之影響，使得合理之費率難以估算，而回收意願又涉及到獎勵金及收購價格之訂定，政府的介入以及回收廠商的決策，便成為重要的一環。

近年來對於逆向供應鏈模型設計，以及不同情境下模型建構及問題探討的文獻討論愈來愈多。由於逆向供應鏈的回收以及處理據點選擇受到許多因素影響，Hong *et al.* (2006) 考慮許多不確定性因素，例如消費者回收意願、回收點利用率，以及資源可再利用率，利用混合整數線性規劃 (mixed integer linear programming, MILP) 的模型求解最大化系統淨利 (在參數給定的不同情境條件下)，分析十六種情境，不同的回收率以及消費者回收意願等數值，再應用穩健最佳化 (robust optimization) 方法，找出穩健最佳解，使得製造商在面對不確定性環境時，本身之逆向供應鏈系統仍有穩健 (robust) 的表現。但由於廢棄物的收購價格會影響消費者的回收意願，在本篇文獻假設收購價格為定值，此與現實狀況不符。

回收的模式選擇，在逆向供應鏈之中，亦為主要探討課題之一。Savaskan and Wassenhove (2006) 針對回收管道設計提出看法，當製造商直接回收廢棄物，整個供應鏈系統之利潤變動會受到回收努力程度之影響，而透過間接回收，也就是經由零售商回收再集中，整個供應鏈利潤會因零售商之間競爭關係而有所影響；Majumder and Groenevelt (2001) 針對兩種廠商競爭下決定再製及製造新品數量之兩階段模型進行探討，第一期 OEM (original equipment manufacturer) 廠商僅利用新料製造新品，決定其生產數量及價格，當市場出現回收商品，第二期回收暨製造商 (local remanufacturer) 應如何決定以二次料或是直接利用新料製造新品。上述兩篇文獻相同之處在於，主要研究對象皆為製造新品並進行回收之廠商，探討新品售價的制定，對回收方式的選擇與各自利潤的影響，而非探討收購價格制定對於自身之影響。由上述文獻回顧可發現，逆向供應鏈相關議題受到多方關注，且研究問題類型多元，顯現出此領域之重要性與探討的價值所在。

2.3 台灣現行資源回收系統

台灣現行資源回收系統亦以兩階段政策工具為發展基礎，於民國八十七年七月成立「資源回收管理基金委員會」，透過地方政府、資源回收廠商、回收基金以及社區民眾之四合一制度，建構台灣的資源回收系統，如圖 1 所示：

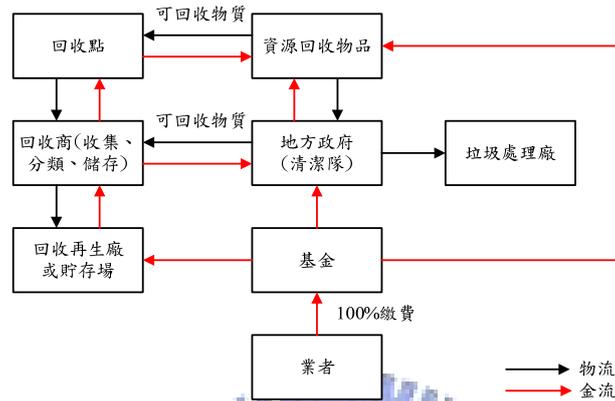


圖 1 四合一制度流程圖

資料來源：行政院環保署 (<http://recycle.epa.gov.tw/index.html>)

環保署宣佈生產者回收責任制後，由責任業者繳納資源回收處理費，再透過資源回收基金會，將該處理費利用在補貼資源回收業者，也提供消費者回收獎勵金，透過第三方物流的運輸支持，以及政府教育上的實施，讓整體回收系統更顯完善 (Lee *et al.* 2000)。由於台灣現行資源回收系統在制定廢資訊物品之回收費率時，僅反應出各回收成本及基金收支平衡處。因此 Hong *et al.* (2007) 利用 Stackelberg 模型架構，以政府單位為先行者 (leader)，資源回收業者及責任業者為跟隨者 (followers)，制定最適補貼及徵收費率。但政府在其補貼資源回收業者之階層問題並沒有加以著墨，政府應該補助上游、中游還是下游廠商，補貼不同階層的政策會對系統造成何種影響，應成為補助議題的重點之一。

2.4 政府補貼政策擬定問題

過去有些許文獻也針對政府補貼費率政策之相關議題加以討論，如 Chau *et al.* (2005) 則以香港著名美孚 (Mei Foo) 建設房地產實例，利用迴歸分析來推算房價，得知政府對於建築設計提供不同程度的補貼，能降低住戶居家品質所感受之負面外部

性。再者，如Bansal and Gangopadhyay (2003) 與溫麗琪 (2005)，兩者皆以兩階段政策工具為模型發展基礎，但Bansal and Gangopadhyay (2003) 是站在消費者環保意識觀點來討論，探究均一補貼或課稅政策與差異化的補貼或課稅政策何者較佳，其使用兩階段奈許賽局 (two-stage Nash game) 為研究模型，考慮兩廠商如何決定自身致力於環境品質之水準，以及如何做出最佳決策，以獲取較佳利潤，而最終也得到政府應採用差異化之補貼政策擬定，進而減少環境污染及提升整體社會福利之結論；溫麗琪 (2005) 則討論匿報及溢報行為，以實證的方式討論其政策效果，認為補貼費率若等於回收而減少的負面外部性成本，則回收處理業者的行為將達到最適化，有充分的誘因維持回收行為。最適補貼費率之擬定為眾學者所重視，補貼對象選擇之問題卻較少學者探討，為此，對於政府各補貼政策，柏雲昌、錢玉蘭 (1996) 也對此做了整理，如表 1 所示。

面對資源枯竭的現象，二次料及新料製造產品之比例，也成為生產者所要面對的問題。Palmer and Wall (1997) 則針對此問題，提出政府在規定回收含量標準的情況之下，廠商應該如何決定生產時二次料與新料之比例，以獲得政府的補貼亦或免於課稅。透過以往文獻可得知，政府補助的確能降低環境負面外部性成本，且業者必然會爭取政府補助機會，凸顯政府補助之重要性。

除了上述政府對於產品回收工作相關補助外，政府補助項目也橫跨不同領域，最常見的包括對於教育貢獻上，提供獎助學金費率與形式之制定 (Peltzman 1973; Fernandez and Rogerson 1995)、對於公司之研發 (research and development, R & D) 部門進行補助，以達增加公司國內與國際競爭力之目的 (Irwin and Klenow 1996; Klette *et al.* 2000; Spencer and Brander 1983)。

表 1 政府補貼對象整理表

補助對象	優點	缺點
上游回收業	1. 提高回收量	1. 強調回收可能導致過度回收，再生處理市場、再生料市場無法消化。 2. 無法建立完整資源回收通路，環保意義低。 3. 稽核及行政成本高
下游處理業	1. 提高處理量，間接帶動回收量。 2. 處理簡單清楚。	1. 僅強調再處理量，可能導致過度處理再生料，使市場無法消化。 2. 資源回收通路不完整，環保意義低。
回收物製成再生料之生產業者	1. 提升再生料使用量，間接帶動處理量與回收量。 2. 使業者有誘因開發綠色生產技術。 3. 稽核與行政成本較低 4. 符合經濟市場自由競爭機制與補貼的精神。 5. 環保意義高。	1. 必須同時考量一般廢棄物與公害程度低之事業廢棄物同時作業，增加現行之行政作業成本。 2. 易導致現行既得利益團體反對。
以上三者，依其成本大小或市場實際情況依比例補助。	1. 公平性較高，反對壓力較小，較易推動。	1. 較難同時實際掌握回收市場、處理市場、再生料市場的市場動向與成本變化資料。 2. 稽核與行政成本最高。

資料來源：柏雲昌、錢玉蘭（1996）一般廢棄物回收系之檢討與建制

2.5 兩階段最佳化問題

由於本研究應用兩階段最佳化模型，求解前針對此領域做相關求解方式探討。兩階

段最佳化問題 (bilevel programming problems, BLPP) 最早是由 Bracken and McGill (1973, 1974, 1978) 所提出的概念。可應用於許多領域，包括城鄉規劃問題、最短路徑問題、代理問題，以及 Stacklberg-Nash 問題 (Sherali *et al.* 1983) 等。其求解的方式也不勝枚舉，過去學者主要所利用的演算法，各有優劣，本研究整理如表 2 所示：

表 2 兩階段最佳化問題常見求解方法

求解方法	代表學者	特性
Karush-Kuhn-Tucker (KKT) conditions	Fortuny-Amat and McCarl (1981) Bard and Falk (1982) Edmunds and Bard (1991)	優：適用非線性問題 搜尋最佳解速度較快 劣：需為凸集合之限制問題
Extreme-point approaches for the linear case	Candler and Townsley (1982)	優：搜尋最佳解速度較快 劣：僅適用於線性-線性兩階段問題
Complementary pivoting methods	Bialas <i>et al.</i> (1980)	劣：搜尋可行解耗費時間過多且步驟繁複。僅適用於線性問題。
Descent methods	Kolstad and Lasdon (1990) Bard and Moore (1990)	劣：搜尋可行解耗費時間過多且步驟繁複。僅適用於線性問題。
Penalty function methods	Aiyoshi and Shimizu (1981, 1984)	優：適用非線性問題 劣：在非線性問題中，並無法保證能找到全域最佳解

經由文獻回顧整理發現，政府提供補貼費之政策儼然成型，表示資源回收系統具有政府介入之正當性，方能有效解決環境問題。政府雖制定了最適補貼與徵收費率，但對於補貼資源回收業者對象問題，並無相似文獻探討，本研究擬建構一兩階層政府補助資源回收系統模型，考慮資源回收系統中，各階層之廠商分別追求自身最佳決策的情況下，政府如何選擇最佳之補助政策。由表 2 可知各求解方式所存在的使用情境限制及優劣之處，由於本研究建構之模型為非線性規劃模型，僅存在一產能限制式與兩階層之目標函式，易於確認限制式可行解區域是否為凸集合，因此本研究選定 KKT 最佳條件式法做為模型求解之基礎理論，且能快速搜尋到最佳解。

第三章 兩階逆向供應鏈一般性模型

本章節首對問題詳加定義，並建立研究假設，應用 Stackelberg 模型建構逆向供應鏈一般性模型，詳述求解方法與過程。

3.1 問題定義

3.1.1 背景

資源回收主要希望達到垃圾減量、資源減耗之目的，而資源減耗則要靠利用二次料的使用來達成。再者，由於環境汙染而造成的負面外部性，使得社會必須承擔環境汙染成本，亦提供政府介入的正當性。自文獻回顧可發現，兩階段政策工具已經成為經濟學者們認為能夠達到與經濟誘因工具相同效應之工具之一，且其可行性也相對較高。台灣現行之資源回收系統便依據兩階段政策工具之作法，透過基管會（以下簡稱政府）向責任業者徵回收收清潔處理費，擔負起延伸生產者責任制之原則，再提供回收清潔補貼費給資源回收業者，為了提供誘因提高消費者回收意願，資源回收業者提供回收獎勵金給消費者。回收獎勵金補貼費，主要有兩個層面，以電子資訊產品為例：

- (1) 一般民眾或企業將廢棄電子資訊產品送至環保署在各地所設置的回收點，可以得到消費者獎勵金。
- (2) 回收商進行回收處理工作，回收商與處理商可以獲得回收清潔補貼費。

本研究所探討的部份，為資源回收業者獲取回收清潔補貼費之範圍（如圖 2 虛線框部份）。由於逆向供應鏈是先經由多個回收點進行回收，再到集中商進行收集、分類、儲存等工作，最終到處理商進行二次料的再生。政府目前對於台灣現行資源回收系統補助對象集中於最下游處理商，補助對象選擇是否合宜，應該補貼在哪一個階層所產生之補貼效果能有最大的效益，為本研究所探討的主要問題，研究問題範圍如圖 2 所示：

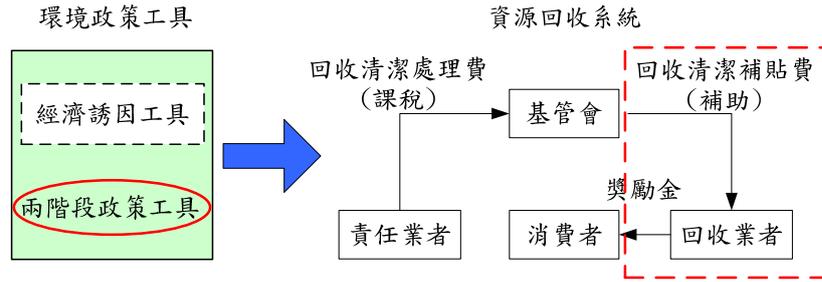


圖 2 研究問題示意圖

3.1.2 問題描述

對於資源回收業者而言，下游處理商（downstream）面對原物料市場，下游處理商因應市售資訊變動，進而對提供給上游廠商（upstream）的收購價格產生衝擊，同時上游回收商面對下游提供的收購價格，決定該提供多高之收購價格給消費者端；另一方面，最上游之回收商面對消費者端，有權決定自身之回收量，以求自身最大利益，此時下游處理商則依上游決策決定回收數量。如同在上述兩種情況，根據不同廠商的立場來考量，會產生不同的決策點先後順序問題，因此本研究則建立兩種兩階逆向供應鏈模型，依據各廠商不同的決策順序與決策變數來探討其間之異同及其背後之經濟意義。一般性模型可如圖 3 所示。

在資源回收系統中，各個回收商、集中商、處理商目標為求自身最大利益，希望以最佳收購價格回收最適數量，再將回收最適數量賣給下游廠商，本身則賺取自身所訂定之收購價格，及下游廠商之收購價格間之差價。由於各廠商固定成本難以估算，因此在不考慮攤提其餘固定成本之情況下，僅考慮存貨成本與處理成本，當向上游收購之數量愈多，下游收購之數量愈少時，自身所留下的存貨愈多，相對的存貨成本愈大；廠商回收物品愈多，處理成本亦增加。

對於政府而言，為使每一廠商都能有充分誘因與動機維持回收行為，並且節省補助成本與管理成本，政府僅能選擇補助單一廠商作為最佳之補助政策；而政府提供給廠商之補貼費，為單位回收補貼金，當回收量愈多，相對廠商獲取之補貼總金額也愈大。

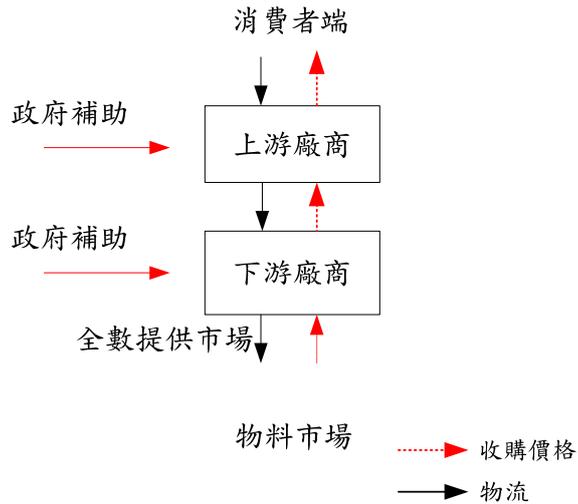


圖3 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖

模型一：回收量為決策變數之資源回收系統模型

在此模型中，回收物流方向由消費者端，到達上游廠商經過回收集中，再經下游廠商進行處理動作至物料市場。模型假設各階層之廠商以分權式（decentralized）角度決定自身之回收量，意指各廠商考慮自身利益，做出認為對自身最好的競爭策略，進而影響自身之收購價格。上游廠商決定自消費者端收購的回收量，可透過自身決定的收購價格反應；而下游廠商回收量，會受到上游廠商之回收量而有所限制。因此本研究模型為 Stackelberg 模型，上游廠商可視為回收量先行決策者，下游廠商則視為回收量跟隨者，上游廠商決定之回收量多寡同時，會考慮下游廠商之反應策略對自身之影響，進而決定收購價格；下游跟隨者之回收量會受到上游廠商回收量限制，僅能根據上游回收多寡來決定自身最佳回收策略。經求解後最終各階層之廠商得到之回收量，會直接反應到各自收購價格及總利潤，再探討在各種不同的補助階層政策實施後對於回收系統會產生何種影響。

模型二：收購價格為決策變數之資源回收系統模型

在此類模型中，金流方向與前述物流方向相反，面對最終物料市場之處理商會根據當時物料價格，來決定自身提供給上游之收購價格，而上游廠商根據下游所提供之收購價格，制定自身提供給消費者端之收購價格。簡言之，各階層之廠商仍以分權式角度決定自身之收購價格，但受到物料市場價格影響，首當其衝的便為下游處理商，

因此下游處理商必然會依此調整最佳收購價格，然而對於上游之回收商而言，僅能根據下游處理商之變動來有所應對，考慮其最適之回收量，因此此模型亦可視為 Stackelberg 模型，下游廠商可視為收購價格先行決策者，上游回收商則視為收購價格跟隨者。

3.2 研究假設

在模型建構前，有些基本假設如下：

1. 各廠商所制定之收購價格與回收數量必為正值，且各廠商在自身利潤非負情況下，回收行為才會存在。
2. 在廢棄電子商品回收鏈中，各零組件經由回收處理並提供給二次原物料市場，使再生零組件增加其產品附加價值，因此最終物料市場價格必然大於下游廠商與上游廠商之收購價格。(即物料市售價格 > 下游收購價格 > 上游收購價格)
3. 由於最終面對物料市場之處理廠商，並沒有誘因將生產出之二次料進行庫存，會將所有回收量提供給市場進行製造及加工，故其生產數量應與市場需求量相等，不存在存貨成本。
4. 由於最終二次料之產量，占該類原物料市場總數量之比例小，不足以影響該原物料之市場價格，市場反應價格不會因為二次料之產出而造成產品價格波動，故假設最終市場價格為常數。
5. 由於其他固定成本難以估算，故本研究不考慮詳細成本結構，僅考慮存貨成本與單位回收處理成本，以簡化模型。
6. 當下游處理商所回收之數量小於上游回收商自消費者所回收之數量時，上游回收商便會產生回收物存貨，造成存貨成本。
7. 站在政府立場而言，為求管理方便與避免負擔成本過大，僅考慮補助單一階層。
8. 政府提供之單位補助費用應低於各廠商之存貨成本，避免廠商過度回收造成囤貨，造成二次污染。
9. 模型假設每家資源回收業者可資源化比例均相同，意指最終產出之二次料總重量占原回收廢棄物重量之百分比相同，每單位回收之資源化價值視為同等。
10. 回收數量僅考慮環保署所設置的官方回收點。
11. 假設廠商變動收購價格之同時，對消費者會產生回收量變動之影響，即提高收購

價格，則回收量增加；減少收購價格，則回收量減少。

3.3 一般性模型符號定義

在本章節會先對於模型的變數作一般性的定義。其中 $Q_i(p_i)$ 各交易市場間供給函數形式，變數與參數定義如下，其中 $Q_1(p_1)$ 表示消費者與上游廠商間之市場供給函數， $Q_2(p_2)$ 表示兩廠商交易市場之供給函數。

變數

模型一中各廠商所決定之決策變數， $q_i = Q_i(p_i)$ 廠商 i 對上游之物品回收量。

模型二中各廠商所決定之決策變數， $p_i =$ 廠商 i 對上游之回收物品收購價格。

參數

$S_i =$ 政府提供給階層 i 之單位補貼費。

$P_M =$ 單位原料市場價格。

$H_i =$ 階層 i 廠商之單位存貨成本。

$C_i =$ 階層 i 廠商之單位回收處理成本。

3.4 回收處理數量為決策變數之資源回收系統一般性模型

在模型一中，第一期上游廠商收購市場端消費者之回收物品，其回收量與上游廠商訂定之收購價格有關；而在第二期，下游廠商回收量受限於上游廠商之回收量，此時下游廠商決定向上游回收之收購價格，兩廠商之決策時間點如圖 4 所示：

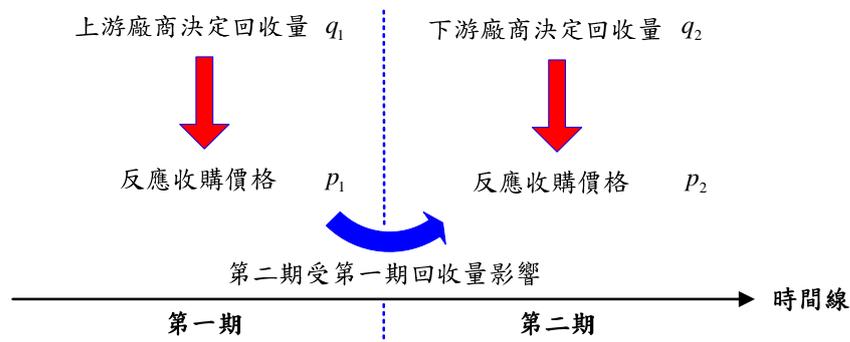


圖 4 兩階資源回收系統決策時間點圖 (一)

依據廠商追求利潤最大化之目標情況下，以 Π_{Tier1} 、 Π_{Tier2} 分別設定為上游廠商、下游廠商之目標函數。由於上游廠商首先選擇回收數量，其決策將考慮下游廠商可能

之反應決策，下游廠商之目標式及限制式可視為游廠商之限制式，此可視為雙層最佳化模型。但下游廠商之回收量，會因上游廠商回收量而有所限制，下游廠商依據自身能力，選擇最佳之回收數量。換言之，下游廠商之回收量 q_2 最多只能等同於上游廠商之回收量 q_1 ，才符合實際情況，以式 $q_2 \leq q_1$ 作為下游廠商之產能限制式，其一般性模型建構如下：

$$\begin{array}{l} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} = p_2 \cdot q_2 - (p_1 + C_1) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} = (P_M - p_2 - C_2) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 \\ \text{subject to} \quad q_2 \leq q_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{先行者問題} \\ \text{(leader's problem)} \\ \text{跟隨者問題} \\ \text{(follower's problem)} \end{array}$$

由於決策變數為回收量，必須將一般性模型中兩廠商之收購價格化為回收量之反函數，即 $q_i = Q_i(p_i)$ 化為 $p_i = P_i(q_i)$ ， $i=1,2$ ，可將模型化為以下形式：

$$\begin{array}{l} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} = P_2(q_2) \cdot q_2 - (P_1(q_1) + C_1) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \end{array} \begin{array}{l} \text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} = (P_M - P_2(q_2) - C_2) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 \\ \text{subject to} \quad q_2 \leq q_1 \end{array}$$

本研究則應用倒推演算法 (backward inductions) 並結合 KKT 最佳條件式求解。依據 Winston (1991) 提到，若求解模型符合求極小值的目標式為一凸函數 (convex function)，或求極大值的目標式為一凹函數 (concave function)，且限制式所圍成的區域為一個凸集合 (convex set)，則 KKT 條件不僅為必要條件 (necessary condition)，亦為充分條件 (sufficient condition)。首先將 Stackelberg 模型的第二階段，也就是將下游廠商之最佳化問題轉換為 KKT 最佳條件式，成為上游廠商之限制式；Stackelberg 模型的第一階段，上游廠商則考慮下游廠商之最佳條件式，以求得最佳解，其一般式解法如下所示：

Second Stage

$$\text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{\text{Tier2}} = (P_M - P_2(q_2) - C_2) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2$$

$$\text{subject to } q_2 \leq q_1 \quad \forall P_i(q_i) \geq 0, i = 1, 2$$

其中，我們令函數 $L = (P_M - P_2(q_2) - C_2) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 - \lambda \cdot (q_1 - q_2)$

轉換成 KKT 最佳條件式

$$(1) \quad q_2 \leq q_1 \quad (\text{Primal Feasibility})$$

$$(2) \quad \frac{\partial L}{\partial q_2} = P_M - q_2 \cdot \frac{\partial P_2(q_2)}{\partial q_2} - P_2(q_2) - C_2 + S_2 + \lambda \cdot q_2 = 0 \quad (\text{Dual Feasibility})$$

$$(3) \quad \lambda(q_1 - q_2) = 0 \quad (\text{Complementary slackness})$$

其中 λ 為對偶變數(dual variable)

First Stage

以上述 KKT 最佳條件式作為上游廠商之限制式

$$\text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{\text{Tier1}} = P_2(q_2) \cdot q_2 - (P_1(q_1) + C_1) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1$$

$$\text{subject to } q_2 \leq q_1$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_2} = P_M - q_2 \cdot \frac{\partial P_2(q_2)}{\partial q_2} - P_2(q_2) - C_2 + S_2 + \lambda \cdot q_2 = 0$$

$$\lambda(q_1 - q_2) = 0$$

3.5 收購價格為決策變數之資源回收系統一般性模型

在模型二中，下游廠商直接面對物料市場價格，收購價格制定則依據物料市場價格而定，訂定之收購價格相對反應到回收量；而上游廠商若提供較高之獎勵金給消費者端，雖然能夠提高消費者回收意願，使得回收量增加，但下游廠商依據產能及處理成本考量下，可能選擇部份回收上游廠商所提供之回收量，此時上游廠商面對存貨成本增加的壓力，以及物料市場價格的影響下，則依據下游廠商所提供之收購價格，進而反應出自身之收購價格與回收量。換言之，在此模型中，兩廠商以收購價格作為決策依據，下游廠商為收購價格先行者，上游廠商為收購價格跟隨者，模型決策時間點則如圖 5 所示：

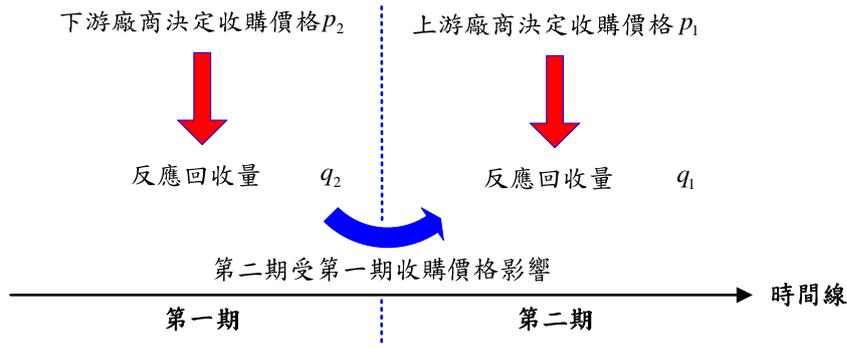


圖 5 兩階資源回收系統決策時間點圖 (二)

由於此時下游廠商為收購價格先行者，上游廠商為收購價格跟隨者，模型也有所變動，一般性模型中回收量皆以 $q_i = Q_i(p_i)$ 表示，模型化為

$$\text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} = P_M \cdot Q_2(p_2) - (p_2 + C_2) \cdot Q_2(p_2) + S_2 \cdot Q_2(p_2)$$

$$\text{subject to } Q_2(p_2) \leq Q_1(p_1) \quad \forall Q_i(p_i) \geq 0, i=1,2$$

$$\text{Max}_{p_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} = p_2 \cdot Q_2(p_2) - (p_1 + C_1) \cdot Q_1(p_1) - H_1 \cdot (Q_1(p_1) - Q_2(p_2)) + S_1 \cdot Q_1(p_1)$$

在此 Stackelberg 模型的第二階段中，上游廠商決策，得到最佳收購價格；在第一階段中，下游廠商依據上游廠商之收購價格以及其回收量限制式進行決策，同樣利用倒推方式求解，其一般式解法如下所示：

Second Stage

$$\frac{\partial \Pi_{Tier1}}{\partial p_1} = -(Q_1(p_1) + p_1 \cdot \frac{\partial Q_1(p_1)}{\partial p_1}) - (C_1 + H_1 - S_1) \cdot \frac{\partial Q_1(p_1)}{\partial p_1} = 0$$

First Stage

$$\text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} = P_M \cdot Q_2(p_2) - (p_2 + C_2) \cdot Q_2(p_2) + S_2 \cdot Q_2(p_2)$$

$$\text{subject to } Q_2(p_2) \leq Q_1(p_1) \quad \forall Q_i(p_i) \geq 0, i=1,2$$

$$p_1 \cdot \frac{\partial Q_1(p_1)}{\partial p_1} = (S_1 - H_1 - C_1) \cdot \frac{\partial Q_1(p_1)}{\partial p_1} - Q_1(p_1)$$

在第一階段中，對於下游廠商而言，其決策取決於上游廠商之最佳反應式，可分做兩種情況探討。第一種狀況為下游廠商選擇全數收購上游廠商所提供之回收量，則上游廠商不會存在存貨成本，此時下游廠商所做出之決策會依據上游廠商之決策而決定；第二種狀況為下游廠商選擇部分回收上游廠商所提供之回收量，此時下游廠商則選擇達自身最大利益下之收購價格決策，這兩種情況下可得兩階層廠商之不同最佳收

購價格。在後面的章節中，將利用此推導過程，針對不同的供給函數下之資源回收系統模型，探究政府之補助決策。



第四章 線性供給函數之逆向供應鏈模型

4.1 符號定義

參考賽局理論 (Gibbons 1992) 與個體經濟學 (Pindyck and Rubinfeld 2005) 中，常以線性函數 (linear function) 表示供給曲線，站在消費者端而言，消費者提供回收商品給資源回收上游業者；站在資源回收系統角度而言，業者提供收購價格給消費者作為刺激回收之誘因，故以供給曲線稱之。本章節以線性供給函數的雙階層模型為基礎架構，先利用簡單線性供給函數 (supply function) 來描述市場情況，即 $q_i = \alpha_i + \beta_i p_i^k$, $i=1, 2$, $\alpha_i \geq 0$ 、 $\beta_i \geq 0$ 、 $k=1$ ，其中 $i=1$ 表示上游廠商， $i=2$ 表示下游廠商。基本架構如圖 6 所示。參數部份與前章節相同，其模型變數與參數定義如下所示。

變數

q_i = 廠商 i 對上游之物品回收量，為模型一各廠商所決定之決策變數。

p_i = 廠商 i 對上游之回收物品收購價格，為模型二中各廠商所決定之決策變數。

參數

α_i = 階層 i 廠商市場供給函數之截距項，可指市場基本回收量。

β_i = 階層 i 廠商市場供給函數斜率項，可指消費者對單位收購價格波動之反應回收量。

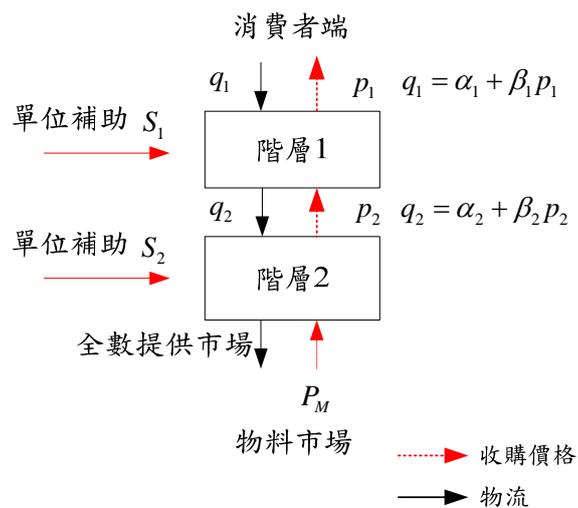


圖 6 線性兩階逆向供應鏈基本模型圖

4.2 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

由於供給函數為 $q_i = \alpha_i + \beta_i p_i$ ，因此收購價格可表示為 $p_i = \frac{q_i - \alpha_i}{\beta_i}$ ， $i=1, 2$ 。依照前一章節兩階層廠商之決策時間點，上游廠商為回收量決策先行者，下游廠商為回收量決策跟隨者，其模型化為如下所示：

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{\text{Tier1}} &= \left(\frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad \text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{\text{Tier2}} &= \left(P_M - \frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2} - C_2\right) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 \\ &\text{subject to} \quad q_2 \leq q_1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

由於下游廠商之限制式均為線性，所以其之可行解區域為一凸集合。再者，下游廠商之目標函數為一凹函數，且目標式為求極大值，在上述情況下，KKT最佳條件式不僅是必要條件，且為充分條件，此時求解KKT最佳條件式可得最佳解。首先找出下游廠商KKT最佳條件式，再將其最佳條件式，作為上游廠商之限制式求解。階層二之KKT最佳條件式如(4.3)~(4.5)所示，因此(4.1)改寫為(4.2)~(4.5)

$$\text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{\text{Tier1}} = \left(\frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \quad (4.2)$$

subject to

$$q_2 \leq q_1 \quad (4.3)$$

$$\beta_2(P_M + S_2 - C_2) + \alpha_2 - 2q_2 + \beta_2\lambda = 0 \quad (4.4)$$

$$\lambda(q_1 - q_2) = 0 \quad (4.5)$$

其中(4.3)為下游廠商之可行性條件式 (primal feasibility)；(4.4)為下游廠商之對偶條件式 (dual feasibility)，由 3.4 中之(2)求得， λ 為對偶變數；(4.5)為互補差餘性質條件式。將上述三個KKT最佳條件式作為上游廠商之限制式並求解。欲使(4.5)互補差餘性質條件式 (complementary slackness) 成立，且滿足 $\lambda \geq 0$ 之條件與各限制式，因此分為以下兩種情況討論：

A. $\lambda = 0$

此時由(4.4)可推得下游廠商最佳回收量

$$q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \quad (4.6)$$

將(4.6)帶回(4.2)並檢查二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = -\frac{2}{\beta_1} < 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier2}}{\partial q_2^2} = -\frac{2}{\beta_2} < 0$$

表示兩廠商之目標函式皆為凹函數，由一階導函數可求得利潤極大值。

首先由(4.6)可推得下游廠商之收購價格

$$p_2^* = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (4.7)$$

將(4.6)帶入上游廠商之目標函式並對 q_1 偏微分取一階導函數並令之為零，得

$$q_1^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (4.8)$$

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (4.9)$$

B. $\lambda > 0$

即下游廠商全數回收，表示(4.3)之等號成立，帶入 Π_{Tier1} 化簡並檢查此時上游廠商之二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = \frac{2(\beta_1 - \beta_2)}{\beta_1\beta_2} \quad (4.10)$$

由(4.10)發現上游廠商之二階導函數，其值無法判定為正或負，因 β_1 、 β_2 參數值皆大於零，且取決於市場情況，並非由任一廠商決定，因此下列分為兩種情形來探討。

B.1 $\beta_1 \geq \beta_2$

此時(4.10)為非負值，即

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = \frac{2(\beta_1 - \beta_2)}{\beta_1\beta_2} \geq 0$$

表示上游廠商之目標函式為凸函數，其最佳解應發生於端點。首先利用 $\lambda > 0$ 將(4.4)移項化簡得一條限制式

$$q_1 < \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2)$$

因此模型可化簡為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left(\frac{q_2 - \alpha_2}{\beta_2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1 - \alpha_1}{\beta_1} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad q_1 &< \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \end{aligned} \quad (4.11)$$

將 Π_{Tier1} 中之 q_2 帶為 q_1 化簡，並求解得此時最佳回收點為

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) - \varepsilon \quad (4.12)$$

其中 ε 為一極小值。

B.2 $\beta_1 < \beta_2$

此時(4.10)為負值，即

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = \frac{2(\beta_1 - \beta_2)}{\beta_1 \beta_2} < 0$$

表示此時上游廠商之目標函式為凹函數，由一階導函數可求得極大值。(4.3)之等號成立並將其帶入上游廠商目標函式並求 q_1 一階導函數並令之為零，求得上游廠商之回收量，再帶回下游廠商求得其回收量得

$$q_1^* = q_2^* = \frac{\alpha_2 \beta_1 - (\alpha_1 + (S_1 - C_1)\beta_1)\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} \quad (4.13)$$

由(4.13)與下游廠商之最佳利潤回收點(4.6)推算，此情境下發生全數回收應成立於(4.13)<(4.6)時，在此條件下，可得均衡解

$$p_1^* = \frac{\alpha_1(-2\beta_1 + \beta_2) + \beta_1(\alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_2)}{2\beta_1(\beta_1 - \beta_2)} \quad (4.14)$$

$$p_2^* = \frac{1}{2} \left(\frac{-\alpha_1 + \alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_1}{\beta_1 - \beta_2} - \frac{\alpha_2}{\beta_2} \right) \quad (4.15)$$

4.3 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析

由 4.2 A 情境中，(4.6)、(4.8)得知，當下游廠商部分回收，即 $q_2 < q_1$ 時，政府提供之補貼費 S_1 、 S_2 對於任一廠商而言皆能產生提高回收量之誘因，促使回收量增加。由

4.2 B情境中發現下游廠商為求利潤極大，會盡可能全數回收。以下針對政府提供不同補助政策探討回收量的變化情形。

4.3.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較

政府為了促使回收業者持續進行回收動作外，提供經濟誘因，也希望達到較大回收量之目標，本研究則針對政府追求增加系統回收量之立場進行探討，分作下列兩種情況討論。首先利用 4.2 小節之回收量 q_1^* 、 q_2^* 之一般式，分別計算出補助上游廠商（此時 $S_1 = S$ 、 $S_2 = 0$ ）時上游回收量 $q_1^{S_1^*}$ 及下游回收量 $q_2^{S_1^*}$ ，以及補助下游廠商（此時 $S_1 = 0$ 、 $S_2 = S$ ）時上游回收量 $q_1^{S_2^*}$ 及下游回收量 $q_2^{S_2^*}$ ，將此兩補助情境之回收量與未補助時之回收量 $q_1^{S_0^*}$ 、 $q_2^{S_0^*}$ 進行比較，分別找出回收量 $\Delta q_1^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_1^{S_{20}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{20}}$ （皆為有補助時回收量減去無補助時回收量），進而找出在提供相同單位補助金額之前提下，補助政策不同會對於上游或是下游回收量造成哪些影響。本研究僅分析政府補貼單一廠商之政策，以避免其餘對於系統回收量造成影響之因子產生。

Proposition 1：當上游廠商回收量大於下游廠商最佳回收量時($\lambda = 0$)，上游廠商與下游廠商會各自選擇最佳回收量。補助上游廠商時， $\Delta q_1^{S_{10}} = \frac{1}{2} S \beta_1 > 0$ 且 $\Delta q_2^{S_{10}} = 0$ ，即上游回收量增加，但下游處理量不隨之提升；補助下游廠商時， $\Delta q_1^{S_{20}} = 0$ 且 $\Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2} S \beta_2 > 0$ ，造成下游處理量提升但上游回收量不變動之情形。

Proof：

由 4.2 小節中之(4.6)、(4.8)可得知上游廠商與下游廠商之反應回收量，同樣藉此分別求出補助兩廠商時之反應回收量，與未補助情況比較。

政府未提供補助

$$\begin{aligned} q_1^{S_0^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1)\beta_1) \\ q_2^{S_0^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2) \end{aligned} \quad (4.16)$$

補助上游廠商

$$\begin{aligned}
q_1^{S_1^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S)\beta_1) \\
q_2^{S_1^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2)
\end{aligned}
\tag{4.17}$$

補助下游廠商

$$\begin{aligned}
q_1^{S_2^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1)\beta_1) \\
q_2^{S_2^*} &= \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S)\beta_2)
\end{aligned}
\tag{4.18}$$

由(4.17)、(4.18)分別減去(4.16)可得上游回收量之差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \frac{1}{2}S\beta_1 > 0, \Delta q_2^{S_{10}} = 0
\tag{4.19}$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = 0, \Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2}S\beta_2 > 0
\tag{4.20}$$

由(4.19)得知政府欲獲得較高上游回收量，可選擇補助上游廠商。 ■

Proposition 2：當上游廠商回收量小於下游廠商最佳回收量時($\lambda > 0$)，下游廠商會全數回收來自於上游廠商之回收量

(a) 當 $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，若政府選擇補助上游廠商，此時 $\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = 0$ ，無法帶動回收與處理量；若政府補助下游廠商，此時 $\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2}S\beta_2 > 0$ ，可同時增加上游回收量與下游處理量。

(b) 當 $\beta_1 < \beta_2$ 時，若政府選擇補助上游廠商，此時 $\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = \frac{-S\beta_1\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} > 0$ 可，同時增加上游回收量與下游處理量；若政府補助下游廠商，此時會造成 $\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0$ ，回收量與處理量皆無所變動。

Proof：

(a) 由(4.12)可推得政府不同補助政策下之回收量

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2) - \varepsilon
\tag{4.21}$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2) - \varepsilon \quad (4.22)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S)\beta_2) - \varepsilon \quad (4.23)$$

由(4.22)、(4.23)分別減去(4.21)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = 0 \quad (4.24)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2}S\beta_2 > 0 \quad (4.25)$$

(b) 由 4.2 小節中之(4.13)可得政府不同補助政策下之回收量

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = \frac{\alpha_2\beta_1 - (\alpha_1 - C_1)\beta_1\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} \quad (4.26)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \frac{\alpha_2\beta_1 - (\alpha_1 + (S - C_1)\beta_1)\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} \quad (4.27)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = \frac{\alpha_2\beta_1 - (\alpha_1 - C_1)\beta_1\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} \quad (4.28)$$

由(4.27)、(4.28)分別減去(4.26)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = \frac{-S\beta_1\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)} > 0 \quad (4.29)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0 \quad (4.30)$$

由(4.29)可知補助上游廠商可以同時提升回收量與處理量。 ■

依據下游廠商回收方式，可以分為部分回收與全數回收兩種可能性。下游廠商選擇部分回收時，由(4.19)可知，若補助上游廠商，此時可得到較大之上游回收量，但下游處理量並不會隨之增加，原因在於下游廠商並沒有得到誘因促使增加回收，為了保有自身最大利益，下游廠商仍會選擇可達最高利潤之回收量，因此上游容易造成囤貨情形，必須自行吸收存貨成本；由(4.20)可知若補助下游廠商，則能提供其誘因以增加

處理量，但上游並未獲得相同誘因。上述觀察特點整理成如圖 7 所示，其中當 $\beta_1 < \beta_2$ 時，政府應補助上游廠商； $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，政府也應補助上游廠商。圖 7 並以 Δq_1^{U*} 、 Δq_2^{U*} 表示在下游廠商部分回收時，補助上游政策對於上游與下游廠商回收量之影響情形。

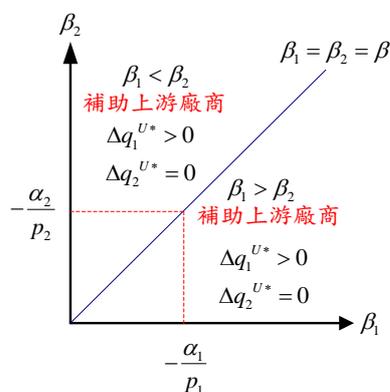


圖 7 市場價格敏感度與政府補助上游時回收量變化圖（一）

下游廠商全數回收之可能性，會發生於以下兩種情境：

1. 在 $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，可解釋為消費者對於收購價格的敏感度高於廠商間交易時之敏感度，即消費者對於回收商變動些微收購價格，就會反應出較為激烈波動之回收變化量，容易造成上游回收點過度回收之情形。對於下游廠商而言，面對上游回收量增加，考慮自身有回收愈多造成轉盈為虧的可能，因此下游廠商可能會停止增加回收量，選擇部分回收上游廠商提供之回收量；對於上游廠商而言，考慮下游廠商有部分回收之決策反應，會制定出最佳回收點，避免存貨。政府為求系統運作效率，增加回收量與處理量，應選擇補助下游廠商。不同收購價格制定範圍則可反映出不同之回收情況，由圖 8 得知，下游廠商全數回收之可能性，僅會落於產能限制式左端，各廠商決定回收數量，是由各自制定之收購價格反應而得，故圖 8 以收購價格角度來說明兩廠商利潤變動關係。由圖 8 可知各廠商在不同收購價格訂定下所反應出之利潤，發現當下游廠商為求利潤極大，全數回收最大值僅會趨近於產能限制式，而超過產能限制式之範圍(圖 8 右側)，表示上游廠商面對下游部分回收，即使回收愈多造成存貨增加，利潤仍持續向上攀升，此情境與現實

狀況並不吻合，實際回收狀況並無可能發生，在此不予以討論。

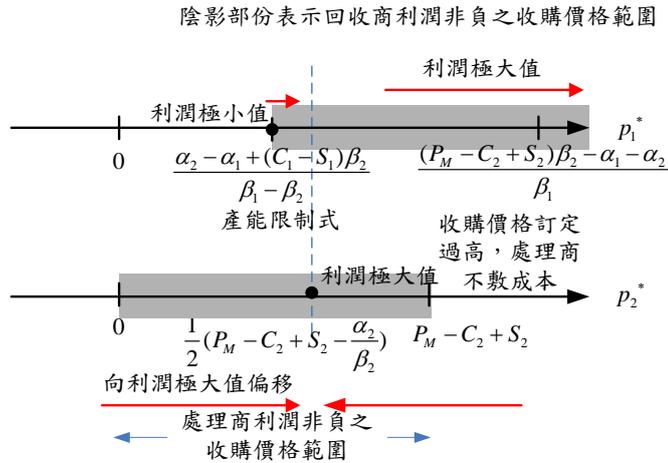


圖 8 回收商決策點圖

2. $\beta_1 < \beta_2$ 時，則表示消費者對於收購價格多寡敏感程度較低。此時下游廠商收購價格變動，上游廠商會反映出較大的回收量波動，表示上游廠商對於下游廠商所制定的收購價格敏感度較高。此時下游廠商一旦提高收購價格，上游廠商便有誘因增加回收量，但上游回收量提升的同時，上游廠商相對需要提供更高之收購價格來刺激消費者。政府為了提升回收量，可選擇補助上游廠商，由(4.29)得知，此時可獲得較大的上游回收量外，亦能增加下游廠商之處理量；由(4.30)得知，若對下游廠商補助，回收量並不會受到影響，原因在於上游廠商並未得到政府所提供的補助誘因，此時上游與下游廠商之回收量與先前政府未補助相同。上述兩個論點，可以圖 9 表示政府補助政策上的選擇，以及兩廠商所面對市場之收購價格敏感度關係，其中當 $\beta_1 < \beta_2$ 時，政府應補助上游廠商； $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，政府應補助下游廠商。圖 9 並以 Δq_1^{B*} 、 Δq_2^{B*} 表示在下游廠商全數回收時，不同補助政策對於上游與下游廠商回收量之影響情形。

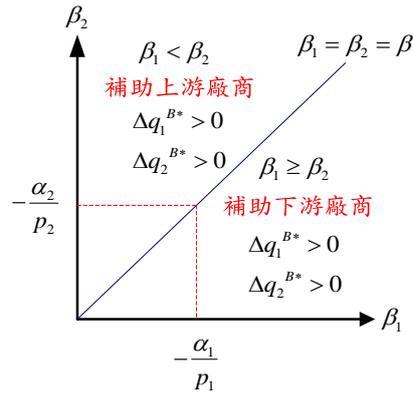


圖 9 市場價格敏感度與政府補助上游回收量之變化圖 (二)

4.3.2 數值案例探討

本研究之數值案例探討對象並無設定特定產業類別，參數僅以假設而得，目的是讓讀者了解，本模型的求解過程。透過下列各案例參數帶入表 3 公式中，探討各案例中，不同補助政策會呈現何種回收狀況。由於求解過程與討論每個模型均相同，因此本研究以回收量為決策變數之模型來加以舉例。

表 3 回收量為決策變數之線性模型求解結果

A. 下游廠商部分回收	B. 下游廠商全數回收
$q_1^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1)$	B.1 $\beta_1 \geq \beta_2$ $q_1^* = q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) - \varepsilon$
$q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2)$	B.2 $\beta_1 < \beta_2$ $q_1^* = q_2^* = \frac{\alpha_2\beta_1 - (\alpha_1 + (S_1 - C_1)\beta_1)\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)}$
$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1}$	$p_1^* = \frac{\alpha_1(-2\beta_1 + \beta_2) + \beta_1(\alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_2)}{2\beta_1(\beta_1 - \beta_2)}$
$p_2^* = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2}$	$p_2^* = \frac{1}{2}\left(\frac{-\alpha_1 + \alpha_2 + (C_1 - S_1)\beta_1}{\beta_1 - \beta_2} - \frac{\alpha_2}{\beta_2}\right)$

案例一

上游廠商：

- (1) 市場基本回收量： $\alpha_1 = 40$ 單位：個數

假設資源回收系統中上游廠商未提供任何收購價格給消費者，消費者在無誘因情況下所反映出之市場基本回收量。

- (2) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 35$ 單位：個數/新台幣

表示消費者面對回收商變動一單位收購價格，回收量的變化量。

- (3) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數

- (4) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

避免上游廠商存在過度回收造成存貨之問題，因此假設多存貨一單位需負擔較高之單位存貨成本做為懲罰。

下游廠商：

- (1) 基本回收量： $\alpha_2 = 30$ 單位：個數

表下游廠商在未提供任何收購價格為誘因之情況下，下游廠商可自上游廠商所收到之回收數量。

- (2) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 5$ 單位：個數/新台幣

表上游廠商面對下游廠商變動一單位收購價格，所影響之回收量。

- (3) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

- (1) 原料市場單位價格： $P_M = 10$ 單位：新台幣/個數

利用上述數據帶入前述表公式中，探討在此案例下，不同補助政策會呈現何種回收狀況，接著探討政府提供給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 6$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 6$ 。(單位：新台幣/個數)

由計算結果得知，此參數數據僅符合 A 情境，即下游廠商部分回收，進而探討政府補助政策選擇，在補助上游廠商時，方有解 $q_1^* = 55$ ， $q_2^* = 35$ ， $p_1^* = 0.43$ ， $p_2^* = 1$ ， $\Pi_{Tier1} = 226.43$ ， $\Pi_{Tier2} = 245$ ，總利潤為 471.43。值得一提的是，在此情境中，政府提供之單位補助費需高於單位存貨與回收處理成本，才有均衡解存在。

案例二

上游廠商：

- (1) 市場基本回收量： $\alpha_1 = 40$ 單位：個數
- (2) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 8$ 單位：個數/新台幣
- (3) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數
- (4) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

下游廠商：

- (1) 基本回收量： $\alpha_2 = 20$ 單位：個數
- (2) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 3$ 單位：個數/新台幣
- (3) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

- (1) 原料市場單位價格： $P_M = 20$ 單位：新台幣/個數

同樣使用上述數據帶入前述表 3 公式中，探討在此案例下，不同補助政策會呈現何種回收狀況。由於此組案例中 $\beta_1 \geq \beta_2$ ，因此全數回收僅有 B.1 之情況成立。接著在表 4 探討政府提供給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 2$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 2$ 。(單位：新台幣/個數)。

表 4 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 \geq \beta_2$)

補助政策	$S_1 = 0$ $S_2 = 0$	$S_1 = 2$ $S_2 = 0$	$S_1 = 0$ $S_2 = 2$
回收狀況	B.1	B.1	B.1
q_1^*	42	42	45
q_2^*	42	42	45
p_1^*	0.25	0.25	0.63
p_2^*	4	4	5
Π_{Tier1}^*	115.5	199.5	151.88
Π_{Tier2}^*	588	588	675
系統總利潤	703.5	787.5	826.88

由上列表可得知此案例中，符合 B.1 情境($\beta_1 \geq \beta_2$)時，補助下游廠商，除了能夠反映出較高回收量外，亦能使系統總利潤極大。

案例三

上游廠商：

- (1) 市場基本回收量： $\alpha_1 = 40$ 單位：個數
- (2) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 10$ 單位：個數/新台幣
- (3) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數
- (4) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

下游廠商：

- (1) 基本回收量： $\alpha_2 = 30$ 單位：個數
- (2) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 12$ 單位：個數/新台幣
- (3) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

(1) 原料市場單位價格： $P_M = 10$ 單位：新台幣/個數

由於此組案例中 $\beta_1 < \beta_2$ ，因此全數回收僅有B.2之情況成立。接著表5探討政府提供給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 2$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 2$ 。(單位：新台幣/個數)。

表5 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 < \beta_2$)

補助政策	$S_1 = 0$ $S_2 = 0$	$S_1 = 2$ $S_2 = 0$	$S_1 = 0$ $S_2 = 2$
回收狀況	B.2	B.2	B.2
q_1^*	40	100	40
q_2^*	40	100	40
p_1^*	0	6	0
p_2^*	1.67	6.67	1.67
Π_{Tier1}^*	26.67	166.67	26.67
Π_{Tier2}^*	253.33	333.33	333.33
系統總利潤	280	500	360

由上列表可得知此案例中，符合 B.2 情境($\beta_1 < \beta_2$)時，補助上游廠商，除了能夠反映出較高回收量外，亦能使系統總利潤極大。於上述三案例探討主要意義在於，在不同參數條件下，計算結果會符合不同情境，換言之，即有下游廠商會發生全數回收或部分回收之兩種情境，各個情境間是相互獨立，並無同時發生之可能性。

4.4 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

依照前一章節兩廠商之決策時間點，下游廠商為決策先行者，上游廠商為決策跟隨者，其模型可表示為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) + S_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) \\ \text{subject to} \quad &\alpha_2 + \beta_2 p_2 \leq \alpha_1 + \beta_1 p_1 \\ \text{Max}_{p_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= p_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) - (p_1 + C_1) \cdot (\alpha_1 + \beta_1 p_1) - H_1(\alpha_1 + \beta_1 p_1 - \alpha_2 - \beta_2 p_2) + S_1 \cdot (\alpha_1 + \beta_1 p_1) \end{aligned} \quad (4.31)$$

首先檢查兩廠商之目標函數之二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial p_1^2} = -2\beta_1 < 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier2}}{\partial p_2^2} = -2\beta_2 < 0$$

可知兩目標函數皆為凹函數，可由一階導函數求得其利潤極大值。上游問題之可行解區域為一凸集合，因此可先將階層一之KKT最佳條件式化為如(4.33)、(4.34)所示，因此(4.31)改寫為(4.32)~(4.34)

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) + S_2 \cdot (\alpha_2 + \beta_2 p_2) \\ \text{subject to} \end{aligned} \quad (4.32)$$

$$\alpha_2 + \beta_2 p_2 \leq \alpha_1 + \beta_1 p_1 \quad (4.33)$$

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (4.34)$$

將(4.34)帶入限制式(4.33)可化簡成

$$p_2 \leq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (4.35)$$

將 Π_{Tier2} 對 p_2 作一階導函數並令之為零，可得

$$p_2 = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (4.36)$$

探討限制式可能發生區域，分為以下兩種情況討論，以圖 10 所示：

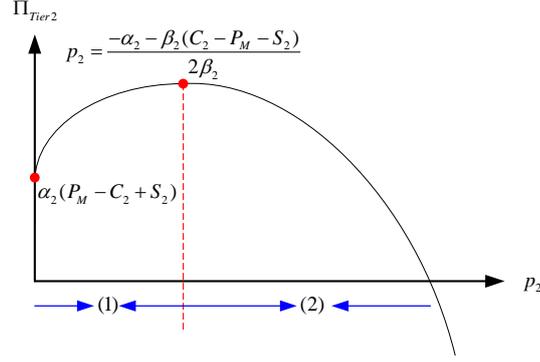


圖 10 限制式(4.35)與下游廠商目標函數關係圖 (一)

A. 限制式(4.35)落於區域(1)

則

$$\frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \geq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (4.37)$$

由(4.37)得知，在 $\alpha_1 \leq \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$ 條件下，均衡解為

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (4.38)$$

$$p_2^* = \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (4.39)$$

此時回收量

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (4.40)$$

此時下游廠商全數回收。

B. 限制式(4.35)落於區域(2)

即

$$\frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \leq \frac{\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1 - 2\alpha_2}{2\beta_2} \quad (4.41)$$

由(4.41)得知，在 $\alpha_1 \geq \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$ 條件下，均衡解為

$$p_1^* = \frac{-\alpha_1 - \beta_1(C_1 + H_1 - S_1)}{2\beta_1} \quad (4.42)$$

$$p_2^* = \frac{-\alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2)}{2\beta_2} \quad (4.43)$$

此時回收量

$$q_1^* = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1) \quad (4.44)$$

$$q_2^* = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S_2)\beta_2) \quad (4.45)$$

表示此時下游廠商僅部分回收。

4.5 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析

由 4.4 A 情境之(4.40)可知，當下游廠商全數回收，且政府提供補助給上游廠商時，兩廠商皆會增加回收量；換言之，政府此時若提供補助給下游廠商，並不會使回收量增加；由 4.4 B 情境中(4.44)、(4.45)得知，當下游廠商部分回收時，政府提供之補貼費 S_1 、 S_2 對於上下游均能產生提高回收量之誘因，促使回收量增加。下一小節仍以政府補助目標為回收數量最大化來進行探討，同樣找出回收量差 $\Delta q_1^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{10}}$ 、 $\Delta q_1^{S_{20}}$ 、 $\Delta q_2^{S_{20}}$ ，進行比較。

4.5.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較

在 4.4 小節中得知不同回收狀況下兩廠商之最佳決策點，藉此可得以下論點。

Proposition 3：在收購價格之線性決策模型中，無論市場情況與下游廠商全數回收或部分回收來自上游之回收量，政府皆應選擇補助上游廠商，以獲得上游較高回收量。

Proof：

(a) 下游廠商全數回收時，由 4.4 小節中可得知上游與下游廠商之回收量一般式，可藉

此求出不同補助政策反應回收量

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - C_1\beta_1) \quad (4.46)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 - S)\beta_1) \quad (4.47)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - C_1\beta_1) \quad (4.48)$$

(4.47)、(4.48)分別減去(4.46)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} = \frac{1}{2}S\beta_1 > 0 \quad (4.49)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0 \quad (4.50)$$

(b) 下游廠商部分回收時，由 4.4 小節(4.44)、(4.45)，同樣可得不同補助政策反應回收量如下

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1)\beta_1) \quad (4.51)$$

$$q_2^{S_0^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1 - S)\beta_1) \quad (4.52)$$

$$q_2^{S_1^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M)\beta_2)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = \frac{1}{2}(\alpha_1 - (C_1 + H_1)\beta_1) \quad (4.53)$$

$$q_2^{S_2^*} = \frac{1}{2}(\alpha_2 + (-C_2 + P_M + S)\beta_2)$$

由(4.52)、(4.53)分別減去(4.51)可得差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \frac{1}{2}S\beta_1 > 0, \Delta q_2^{S_{10}} = 0 \quad (4.54)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = 0, \Delta q_2^{S_{20}} = \frac{1}{2}S\beta_2 > 0 \quad \blacksquare$$

由(4.49)、(4.50)可知，補助上游廠商時兩廠商之回收量皆會增加，補助下游廠商無法影響回收量，其原因在於上游廠商自消費者端回收之數量較少，低於下游廠商利潤極大回收點，即 $\alpha_1 < \alpha_2 - \beta_2(C_2 - P_M - S_2) + (C_1 + H_1 - S_1)\beta_1$ ，因此可造成下游廠商全數回收之情況，政府為求上游回收量增加，補助上游廠商為較佳選擇；由(4.54)得知，

當政府補助上游廠商時，雖然上游之回收量增加，但卻無法刺激下游增加其回收量，原因在於上游回收量總數超過下游之利潤極大回收點，因此造成下游廠商部分回收。在此情境下若政府希望提高上游回收量，可選擇補助上游廠商仍為較佳決策。

4.6 小結

政府補助上游廠商，無論市場的情況為何，皆能提昇上游回收量，而在補助上游廠商的同時下游廠商相對的並沒有得到相同的誘因而使其回收，因而造成回收處理量並未增加之情況。因此政府為求較高回收量，可選擇補助上游廠商，此時政府應注意消費者與廠商間交易之收購價格敏感程度，當敏感度愈高，補助上游時，反而會造成回收量增加愈多，但下游之處理量並未隨之增加，容易造成處理量過剩，對於環境造成二次污染或產生更大之處理成本，因此除了政府要求增加回收量的同時，也要考慮單位補助金額之多寡，使回收物囤積的狀況降到最低。

由於前述兩種模型雖廠商制定之決策變數有所不同，加上不同市場情況下會造成回收模式之差異，所有可能發生之回收情境整理如圖 11、圖 12 所示，其中利潤極大，表示各廠商符合當時市場情境條件下之利潤極大值，非自身最佳回收利潤極大點；利潤偏低，表示各廠商符合當時市場情境條件下與當時之極大值相比之值。

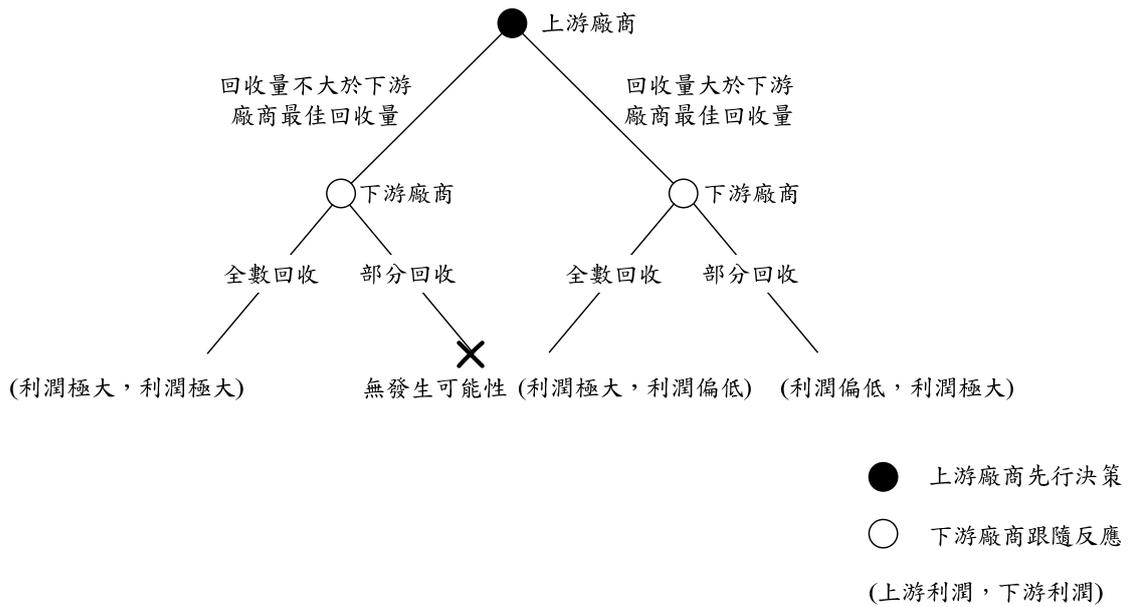


圖 11 回收量為決策變數線性模型之回收情境示意圖

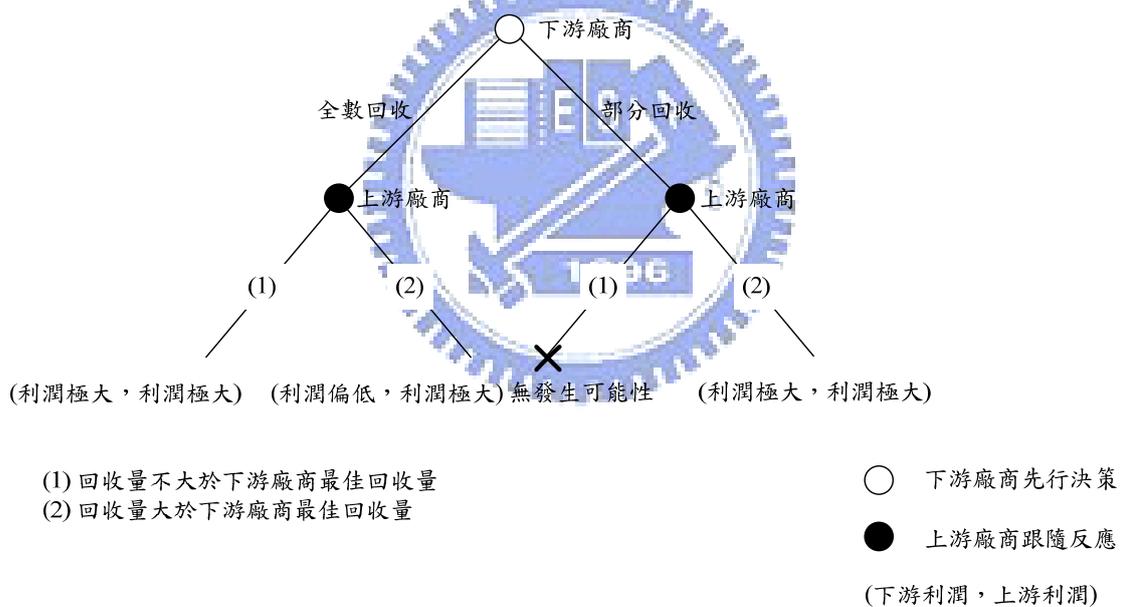


圖 12 收購價格為決策變數線性模型之回收情境示意圖

此外，在供給函數為線性之模型中發現，無論交由那一廠商先行決策，政府站在提升上游回收量的立場，絕大部分選擇補助上游廠商。可以得到以下結論：

1. 在回收量為決策變數之模型中，政府為直接提昇上游回收量，會選擇直接補助上游廠商。在 $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，選擇補助下游廠商原因在於，上游廠商在回收的同時制定了收購價格，一般而言，回收點回收處理的成本較低，因此為求消費者回收意願

增加，上游廠商擁有更大的收購價格制定空間，提供較高之收購價格給消費者，在消費者端對於回收廠商所制定之收購價格敏感程度較高的同時，便能反應出較高之回收量，而為保有下游廠商之回收處理意願，政府會選擇補助下游廠商，此時不僅市場回收數量增加，處理量亦能增加。

2. 在收購價格為決策變數之模型中，由於資源回收廠商收購價格之訂定，會受到市場物料價格影響，當市場物料價格降低時，兩階層廠商必然降低其收購價格，而消費者面對收購價格降低則減少回收意願，使回收量減少，政府為使提高回收量，必然選擇補助上游廠商，減少因物料價格造成回收量波動之情形。

在此小節中，本研究假設各資源回收廠商間之市場交易情況為線性函數，所呈現之結果，並非在所有之情況下，都對於同一廠商補助，在實際的社會經濟情況中，供需函數並不那麼直觀，也根據各產業類別之不同而形成供需情況有所差異，因此在下章節中，探討非線性供給函數形式之資源回收系統模型，並分析其中之現象與涵義。



第五章 非線性供給函數之逆向供應鏈模型

在第四章中，已針對線性之供給函數形式進行相關的推導及分析，在本章節，則探討非線性之供給函數形式。

5.1 符號定義

在此類模型中，各廠商間交易市場之供給函數為非線性，可以 $q_i = \alpha_i + \beta_i p_i^k$ 形式表示，本章節僅針對 $0 < k < 1$ 範圍探討，其中 $i=1$ 表示上游廠商， $i=2$ 表示下游廠商。本研究並不針對 $k > 1$ 範圍討論，由於消費者回收意願與收購價格有正向關係，即收購價格越多，對於消費者進行回收之誘因更大，但在提供收購金額的同時，市場的回收量會趨於穩定（參圖 14(a)），而非增加一單位收購價格，回收量大幅增加（參圖 14(b)），因此本章節僅針對前者討論，並為 $k=1$ ，即 $q_i = \beta_i p_i^{1/2}$ 形式探討，如圖 13 所示。

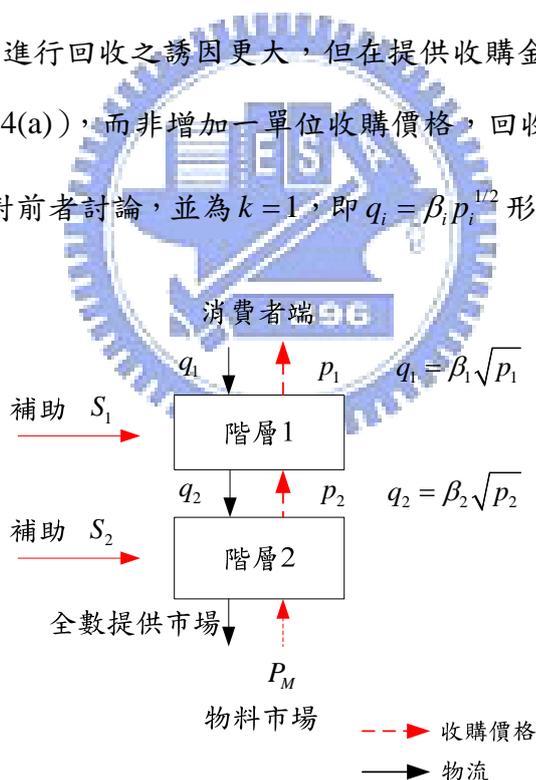


圖 13 非線性兩階逆向供應鏈基本模型圖

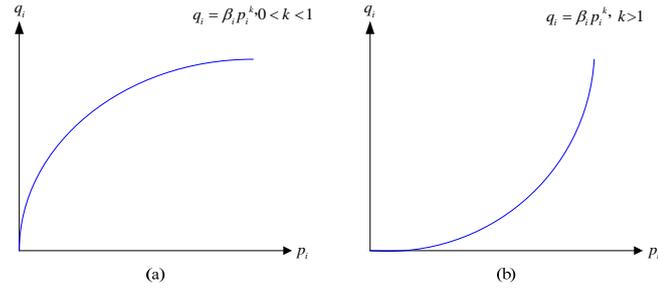


圖 14 供給函數形式圖

5.2 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

依據決策時間點（上游廠商為回收量決策先行者，下游廠商為回收量決策跟隨者），供給函數 $q_i = \beta_i \sqrt{p_i}$ 可移項為 $p_i = \frac{q_i^2}{\beta_i^2}$ ， $i=1,2$ 。此模型可表示為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left(\frac{q_2^2}{\beta_2^2}\right)q_2 - \left(\frac{q_1^2}{\beta_1^2} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad \text{Max}_{q_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= \left(P_M - \frac{q_2^2}{\beta_2^2} - C_2\right) \cdot q_2 + S_2 \cdot q_2 \\ &\text{subject to} \quad q_2 \leq q_1 \end{aligned} \quad (5.1)$$

下游廠商之 KKT 最佳條件式為(5.3)~(5.5)，因此(5.1)可化為(5.2)~(5.5)：

$$\text{Max}_{q_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} = \left(\frac{q_2^2}{\beta_2^2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1^2}{\beta_1^2} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \quad (5.2)$$

subject to

$$q_2 \leq q_1 \quad (5.3)$$

$$P_M - \frac{3}{\beta_2^2} q_2^2 - C_2 + S_2 - \lambda = 0 \quad (5.4)$$

$$\lambda(q_1 - q_2) = 0 \quad (5.5)$$

同樣分為以下兩種情況討論。

A. $\lambda = 0$

此時由(5.4)可推得下游最佳回收量

$$q_2^* = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}} \quad (5.6)$$

將(5.6)帶入 Π_{Tier1} 並檢查二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = -\frac{6}{\beta_1^2} q_1 < 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier2}}{\partial q_2^2} = -\frac{6}{\beta_2^2} q_2 < 0$$

對於所有 $q_i > 0$ 條件而言， $\frac{\partial^2 \Pi_{Tieri}}{\partial q_i^2} < 0$ 恆成立，表示兩廠商之目標函式皆為凹函

數，可由一階導函數求得利潤極大值。

將(5.6)帶入 Π_{Tier1} 後，並對 q_1 偏微分取一階導函數並令之為零，得

$$q_1^* = \beta_1 \sqrt{\frac{S_1 - C_1 + H_1}{3}} \quad (5.7)$$

此時可得兩廠商之收購價格為

$$p_1^* = \frac{S_1 - C_1 + H_1}{3} \quad (5.8)$$

$$p_2^* = \frac{P_M - C_2 + S_2}{3} \quad (5.9)$$

B. $\lambda > 0$

表示(5.3)等號成立，下游廠商全數回收，帶入 Π_{Tier1} 化簡並檢查此時上游廠商之二階導函數

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = -\frac{6}{\beta_1^2} q_1 + \frac{6}{\beta_2^2} q_1 \quad (5.10)$$

由(5.10)得知無法判定上游廠商目標式之凹凸性，同樣分為下列兩種情形探討。

B.1 $\beta_1 \geq \beta_2$

此時(5.10)為非負值

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = -\frac{6}{\beta_1^2} q_1 + \frac{6}{\beta_2^2} q_1 \geq 0$$

表示上游廠商目標函式為凸函數，同樣利用 $\lambda > 0$ 將(5.4)移項化簡得一條限制式

$$q_1 < \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}}$$

因此模型可化簡為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_i \geq 0} \Pi_{Tier1} &= \left(\frac{q_2^2}{\beta_2^2}\right) \cdot q_2 - \left(\frac{q_1^2}{\beta_1^2} + C_1\right) \cdot q_1 - H_1 \cdot (q_1 - q_2) + S_1 \cdot q_1 \\ \text{subject to} \quad q_1 &< \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}} \end{aligned} \quad (5.11)$$

將 Π_{Tier1} 中之 q_2 帶為 q_1 化簡，並求解得此時最佳解為

$$q_1^* = q_2^* = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}} - \varepsilon \quad (5.12)$$

其中 ε 為一極小值。

B.2 $\beta_1 < \beta_2$

此時(5.10)為負值

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial q_1^2} = -\frac{6}{\beta_1^2} q_1 + \frac{6}{\beta_2^2} q_1 < 0$$

表示此時上游廠商之目標函式為凹函數，將 $q_1 = q_2$ 之條件帶入上游目標函式，可由一階導函數求得最佳解，由限制式 $q_1 < \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}}$ 與 q_1^* 之關係，可推得在 $\beta_1^2(C_1 - S_1) < (\beta_1^2 - \beta_2^2)(P_M - C_2 + S_2)$ 條件下，均衡解為

$$q_1^* = q_2^* = \beta_1 \beta_2 \sqrt{\frac{S_1 - C_1}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)}} \quad (5.13)$$

$$p_1^* = \frac{\beta_2^2(S_1 + C_1)}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)} \quad (5.14)$$

$$p_2^* = \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1)}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)} \quad (5.15)$$

5.3 回收量為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析

此小節同樣站在政府希望提高上游或下游回收量之前提下探討補助決策選擇。

5.3.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較

在此模型中，依據前一小節所導出之最佳解，可以得到以下幾個論點。

Proposition 4：當上游廠商回收量大於下游廠商最佳回收量時($\lambda = 0$)，上游廠商與下游廠商皆會各自選擇最佳回收量。政府若選擇補助上游廠商，則造成 $\Delta q_1^{S_{10}} > 0$ 、

$\Delta q_2^{S_{10}} = 0$ ，上游回收量增加但下游處理量不會隨之提升；若選擇補助下游廠商，則造成 $\Delta q_1^{S_{20}} = 0$ 、 $\Delta q_2^{S_{20}} > 0$ ，僅下游處理量增加。

Proof :

由 5.2 小節中之(5.6)、(5.7)可得知上游廠商與下游廠商之反應回收量，同樣藉此求出補助兩廠商之反應回收量，與未補助情況比較。

政府未提供補助

$$\begin{aligned} q_1^{S_0^*} &= \beta_1 \sqrt{\frac{H_1 - C_1}{3}} \\ q_2^{S_0^*} &= \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2}{3}} \end{aligned} \quad (5.16)$$

補助上游廠商

$$\begin{aligned} q_1^{S_1^*} &= \beta_1 \sqrt{\frac{S - C_1 + H_1}{3}} \\ q_2^{S_1^*} &= \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2}{3}} \end{aligned} \quad (5.17)$$

補助下游廠商

$$\begin{aligned} q_1^{S_2^*} &= \beta_1 \sqrt{\frac{H_1 - C_1}{3}} \\ q_2^{S_2^*} &= \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S}{3}} \end{aligned} \quad (5.18)$$

由(5.17)、(5.18)分別減去(5.16)可得上游回收量之差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} > 0, \Delta q_2^{S_{10}} = 0 \quad (5.19)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = 0, \Delta q_2^{S_{20}} > 0 \quad (5.20)$$

由(5.19)得知補助上游廠商可獲得較大回收量，但下游處理量不變；由(5.20)得知補助下游廠商可獲得較大處理量，但上游回收量不變。 ■

Proposition 5 : 當上游廠商回收量至多不超過下游廠商最佳回收量時($\lambda > 0$)時，下游廠商會全數回收來自於上游廠商之回收量

(a) 當 $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，若政府選擇補助上游廠商，使 $\Delta q_1^{S_{10}^*} = \Delta q_2^{S_{10}^*} = 0$ ，無法造成補助誘

因使回收處理量增加；若政府選擇補助下游廠商，則 $\Delta q_1^{S_{20}^*} = \Delta q_2^{S_{20}^*} > 0$ ，可同時增加上游回收量與下游處理量。

(b) 當 $\beta_1 < \beta_2$ 時，若政府選擇補助上游廠商，使 $\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} > 0$ ，使回收量增加；若政府補助下游廠商，則 $\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0$ ，無法對回收量造成正面影響。

Proof :

(a) 由(5.12)可推得政府不同補助政策下之回收量

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2}{3}} - \varepsilon \quad (5.21)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2}{3}} - \varepsilon \quad (5.22)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S}{3}} - \varepsilon \quad (5.23)$$

由(5.22)、(5.23)分別減去(5.21)可得其差異值

$$\begin{aligned} \Delta q_1^{S_{10}^*} &= \Delta q_2^{S_{10}^*} = 0 \\ \Delta q_1^{S_{20}^*} &= \Delta q_2^{S_{20}^*} > 0 \end{aligned} \quad (5.24)$$

(b) 由(5.13)可推得政府不同補助政策下之回收量

政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = 0 \quad (5.25)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \beta_1 \beta_2 \sqrt{\frac{S - C_1}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)}} \quad (5.26)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = 0 \quad (5.27)$$

由(5.26)、(5.27)分別減去(5.25)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} > 0 \quad (5.28)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0 \quad (5.29)$$

由此可知政府可選擇補助上游廠商。 ■

針對以上下游廠商回收之方式，政府補貼選擇可由以下兩部分來解釋。下游廠商部分回收時，表示上游回收量大於自身利潤極大點之最佳回收量。政府為求回收量極大，由(5.19)得知當政府選擇補助上游時，可達到回收量增加之目的，但下游並未受到相同誘因而促使其增加處理量，容易造成上游回收量囤積之問題。

下游廠商全數回收可能發生於兩種可能性，探討如下：

1. 當 $\beta_1 \geq \beta_2$ 時，表示回收市場中消費者回收反應量較大；換言之，當上游廠商增加一單位收購價格，便可使回收量增加 β_1 單位。相對於上游廠商，下游廠商面對上游較多之回收量增加，回收愈多有造成虧損之可能性，選擇全數回收僅有可能發生在上游回收量少於自身回收利潤極大點時。政府為求回收量極大，可選擇補助下游廠商，由(5.24)得知，當補助下游廠商時，上游回收量與下游處理量皆會增加。
2. 當 $\beta_1 < \beta_2$ 時，表示回收市場中消費者回收反應量較低。由(5.28)、(5.29)得知當政府選擇補助上游廠商，能夠增加廠商回收誘因，提供更高之收購價格給消費者，以達間接刺激消費者回收之目的，增加回收量。

5.3.2 數值案例探討

在此小節中，同樣利用三種案例，來闡述各情境為各自獨立發生之情況。表 6 為在非線性模型中之求解結果。

表 6 回收量為決策變數之非線性模型求解結果

A. 下游廠商部分回收	B. 下游廠商全數回收
$p_1^* = \frac{S_1 - C_1 + H_1}{3}$ $p_2^* = \frac{P_M - C_2 + S_2}{3}$ $q_1^* = \beta_1 \sqrt{\frac{S_1 - C_1 + H_1}{3}}$ $q_2^* = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}}$	B.1 $\beta_1 \geq \beta_2$ $q_1^* = q_2^* = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}} - \varepsilon$
	B.2 $\beta_1 < \beta_2$ $q_1^* = q_2^* = \beta_1 \beta_2 \sqrt{\frac{S_1 - C_1}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)}}$ $p_1^* = \frac{\beta_2^2 (S_1 - C_1)}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)}$ $p_2^* = \frac{\beta_1^2 (S_1 - C_1)}{3(\beta_2^2 - \beta_1^2)}$

案例一

上游廠商：

- (1) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 35$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數
- (3) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

下游廠商：

- (1) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 5$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

- (1) 原料市場單位價格： $P_M = 15$ 單位：新台幣/個數

利用上述數據帶入前述表公式中，探討在此案例下，不同補助政策會呈現何種回收狀況，接著探討政府提供給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 6$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 6$ 。(單位：新台幣/個數)

由計算結果得知，此參數數據僅符合 A 情境，即下游廠商部分回收，進而探討政府補助政策選擇，在補助上游時，方有解 $q_1^* = 113$ ， $q_2^* = 10$ ， $p_1^* = 2.67$ ， $p_2^* = 4.33$ ，

$\Pi_{Tier1} = 1.05$, $\Pi_{Tier2} = 90.21$, 總利潤為 91.26 。

案例二

上游廠商：

- (1) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 8$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數
- (3) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

下游廠商：

- (1) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 3$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

- (1) 原料市場單位價格： $P_M = 20$ 單位：新台幣/個數

同樣使用上述數據帶入前述表公式中，探討在此案例下，不同補助政策會呈現何種回收狀況。由於此組案例中 $\beta_1 \geq \beta_2$ ，因此全數回收僅有B.1 之情況成立。接著表 7 探討政府提供給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 2$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 2$ 。(單位：新台幣/個數)

表 7 下游廠商全數回收時政府補助決策分析($\beta_1 \geq \beta_2$)

補助政策	$S_1 = 0$ $S_2 = 0$	$S_1 = 2$ $S_2 = 0$	$S_1 = 0$ $S_2 = 2$
回收狀況	B.1	B.1	B.1
q_1^*	7	7	8
q_2^*	7	7	8
p_1^*	0.84	0.84	0.94
p_2^*	6	6	6.67
Π_{Tier1}^*	30.54	45.24	36.63
Π_{Tier2}^*	88.18	88.18	103.28
系統總利潤	118.72	134.42	139.91

由上列表可得知此案例中，僅符合 B.1 情境($\beta_1 \geq \beta_2$)時，補助下游廠商，除了能夠反映出較高回收量外，亦能使系統總利潤極大。

案例三

上游廠商：

- (1) 消費者對收購價格單位變動之變化量： $\beta_1 = 10$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_1 = 1$ 單位：新台幣/個數
- (3) 單位存貨成本： $H_1 = 3$ 單位：新台幣/個數

下游廠商：

- (1) 上游廠商對收購價格單位變動之變化量： $\beta_2 = 12$ 單位：個數/新台幣
- (2) 單位回收成本： $C_2 = 2$ 單位：新台幣/個數

市場機制：

- (1) 原料市場單位價格： $P_M = 10$ 單位：新台幣/個數

由於此組案例中 $\beta_1 < \beta_2$ ，表示全數回收僅有 B.2 之情況成立。接著探討政府提供

給兩廠商三種不同之單位補貼方式：(1) $S_1 = S_2 = 0$ ，(2) $S_1 = 2$ ， $S_2 = 0$ ，(3) $S_1 = 0$ ， $S_2 = 2$ 。(單位：新台幣/個數)。經求解得知，此案例在補助上游時，方有解 $q_1^* = 10$ ， $q_2^* = 10$ ， $p_1^* = 0.76$ ， $p_2^* = 1.09$ ， $\Pi_{Tier1}^* = 6.96$ ， $\Pi_{Tier2}^* = 75.64$ ，總利潤為 82.6，原因在於政府未提供補助給上游廠商時，收購價格為負，造成消費者必須負擔回收金，降低回收意願，在此不加以探討。

5.4 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型建構

承前章節之決策時間點，此模型可表示為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot \beta_2 \sqrt{p_2} + S_2 \cdot \beta_2 \sqrt{p_2} \\ \text{subject to} \quad &\beta_2 \sqrt{p_2} \leq \beta_1 \sqrt{p_1} \\ \text{Max}_{p_1 \geq 0} \Pi_{Tier1} &= p_2 \cdot \beta_2 \sqrt{p_2} - (p_1 + C_1) \cdot \beta_1 \sqrt{p_1} - H_1(\beta_1 \sqrt{p_1} - \beta_2 \sqrt{p_2}) + S_1 \cdot \beta_1 \sqrt{p_1} \end{aligned} \quad (5.30)$$

首先檢查兩階層廠商二階導函數

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial p_1^2} &= -\frac{1}{4} \beta_1 p_1^{-3/2} [3p_1 + (S_1 - C_1 - H_1)] \\ \frac{\partial^2 \Pi_{Tier2}}{\partial p_2^2} &= -\frac{1}{4} (P_M - C_2 + S_2) \beta_2 p_2^{-3/2} - \frac{3}{4} \beta_2 p_2^{-1/2} < 0 \end{aligned} \quad (5.31)$$

根據(5.31)無法判定上游廠商目標函式之凹凸性，在 $p_1 = \frac{H_1 - S_1 + C_1}{3}$ 時二階導函數

為零，表示其點為反曲點。由於反曲點右方函數之二階導函數為

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial p_1^2} = -\frac{1}{4} \beta_1 p_1^{-3/2} [3p_1 + (S_1 - C_1 - H_1)] \leq 0$$

可知在 $p_1 \geq \frac{H_1 - S_1 + C_1}{3}$ 範圍為一凹函數形式，存在一極大值；而在 $p_1 < \frac{H_1 - S_1 + C_1}{3}$

範圍，可求得

$$\frac{\partial \Pi_{Tier1}}{\partial p_1} = -\frac{1}{2} \beta_1 p_1^{-1/2} [3p_1 + C_1 + H_1 - S_1] > 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{Tier1}}{\partial p_1^2} = -\frac{1}{4} \beta_1 p_1^{-3/2} [3p_1 + (S_1 - C_1 - H_1)] > 0$$

表示反曲點左方為一遞增凸函數，不會有利潤極大值存在，故反曲點左方不予以

討論。為求利潤極大點，求上游廠商一階導函數並令之為零，求得

$$p_1^* = \frac{S_1 - C_1 - H_1}{3} \quad (5.32)$$

僅有一個根存在，表示(5.32)為上游廠商之最佳收購價格制定點。承上，將(5.32)帶入

模型限制式 $\beta_2\sqrt{p_2} \leq \beta_1\sqrt{p_1}$ ，可將模型化簡為

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_2 \geq 0} \Pi_{Tier2} &= (P_M - p_2 - C_2) \cdot \beta_2\sqrt{p_2} + S_2 \cdot \beta_2\sqrt{p_2} \\ \text{subject to} \quad p_2 &\leq \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2} \end{aligned}$$

由於下游廠商之目標函式為凹函數，可由一階導函數求得利潤極大值；再者，在無回收量時無獲利可言，故下游廠商目標式圖形可繪成圖 15。接著探討限制式等號成立可能發生區域。可分為以下兩部份討論：

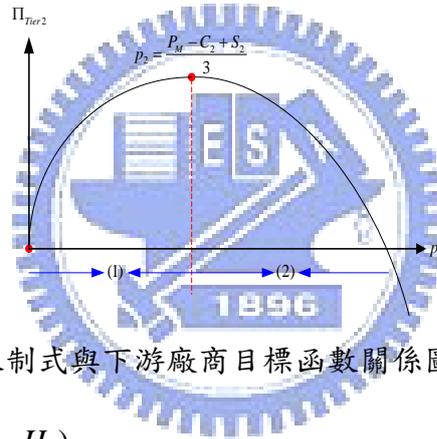


圖 15 限制式與下游廠商目標函數關係圖（二）

A. 限制式 $p_2 = \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2}$ 落於區域(1)

即

$$\frac{P_M - C_2 + S_2}{3} > \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2} \quad (5.33)$$

由(5.33)推得在 $\beta_2^2(P_M - C_2 + S_2) > \beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)$ 條件下，可得此時均衡解為

$$p_1^* = \frac{S_1 - C_1 - H_1}{3} \quad (5.34)$$

$$p_2^* = \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2} \quad (5.35)$$

可得此時回收量

$$q_1^* = q_2^* = \beta_1 \sqrt{\frac{S_1 - C_1 - H_1}{3}} \quad (5.36)$$

表示下游廠商全數回收來自上游廠商之回收量。

B. 限制式 $p_2 = \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2}$ 落於區域(2)

即

$$\frac{P_M - C_2 + S_2}{3} \leq \frac{\beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)}{3\beta_2^2} \quad (5.37)$$

由(5.37)推得在 $\beta_2^2(P_M - C_2 + S_2) \leq \beta_1^2(S_1 - C_1 - H_1)$ 條件下，可得此時均衡解為

$$p_1^* = \frac{S_1 - C_1 - H_1}{3} \quad (5.38)$$

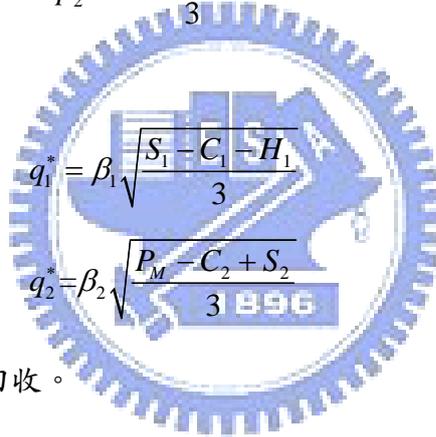
$$p_2^* = \frac{P_M - C_2 + S_2}{3} \quad (5.39)$$

可得此時回收量

$$q_1^* = \beta_1 \sqrt{\frac{S_1 - C_1 - H_1}{3}} \quad (5.40)$$

$$q_2^* = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2 + S_2}{3}} \quad (5.41)$$

此時下游廠商僅選擇部分回收。



5.5 收購價格為決策變數之兩階資源回收系統模型補助階層政策分析

接續上一小節，本章節則探討政府如何制定補助政策。

5.5.1 政府追求系統最大回收量之補助情境比較

由 5.4 小節可得兩階層廠商在不同回收情況下之最佳決策為何，依此可獲得以下論點。

Proposition 6：在收購價格之非線性決策模型中，無論市場情況與下游廠商回收情況如何，政府欲提高市場回收量，皆選擇補助上游廠商較佳。

Proof：

(a) 下游廠商全數回收時，由(5.36)可推得不同補助政策下之反應回收量
政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = 0 \quad (5.42)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = q_2^{S_1^*} = \beta_1 \sqrt{\frac{S - C_1}{3}} \quad (5.43)$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = 0 \quad (5.44)$$

由(5.43)、(5.44)分別減去(5.42)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} = \Delta q_2^{S_{10}} > 0 \quad (5.45)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = \Delta q_2^{S_{20}} = 0$$

(b) 下游廠商部分回收時，由 5.4 小節(5.40)、(5.41)可推得不同補助政策反應回收量
政府未提供補助

$$q_1^{S_0^*} = q_2^{S_0^*} = 0 \quad (5.46)$$

補助上游廠商

$$q_1^{S_1^*} = \beta_1 \sqrt{\frac{S - C_1 - H_1}{3}} \quad (5.47)$$

$$q_2^{S_1^*} = \beta_2 \sqrt{\frac{P_M - C_2}{3}}$$

補助下游廠商

$$q_1^{S_2^*} = q_2^{S_2^*} = 0 \quad (5.48)$$

由(5.47)、(5.48)分別減去(5.46)可得其差異值

$$\Delta q_1^{S_{10}} > 0, \Delta q_2^{S_{10}} > 0 \quad (5.49)$$

$$\Delta q_1^{S_{20}} = 0, \Delta q_2^{S_{20}} = 0 \quad \blacksquare$$

由(5.45)、(5.49)在下游廠商無論選擇部分回收或是全數回收，政府都必須補助上

游廠商，方能增加上游回收量與下游處理量，原因在於資源回收市場對於收購價格之反應較為被動，需要提供較高之收購價格，才會對消費者刺激回收；再者，上游廠商直接面對消費者回收端，面對市場需要高收購價格之壓力，相對於其而言便成為支出上的負擔。政府為求提高回收量，此時應選擇補助上游廠商，使其願意訂定較高之收購價格，來刺激回收量。

5.6 小結

若政府補助上游廠商，無論市場的情況為何，皆能提昇上游回收量；在補助上游廠商的同時，下游廠商相對的並沒有得到相同的誘因而使其回收，因而造成回收處理量較少之情況。因此政府為求較高回收量，可選擇補助上游廠商，但此時政府應注意消費者與廠商間交易之收購價格敏感程度，因為敏感度愈高，則補助上游時，容易造成回收量增加，但下游處理量並未隨之增加的情況，造成上游回收量囤積之窘境，對於環境造成二次污染或產生更大的處理成本。在不同情境以及市場情況下，兩廠商亦會造成不同之回收模式，其整理如圖 16、圖 17 所示：

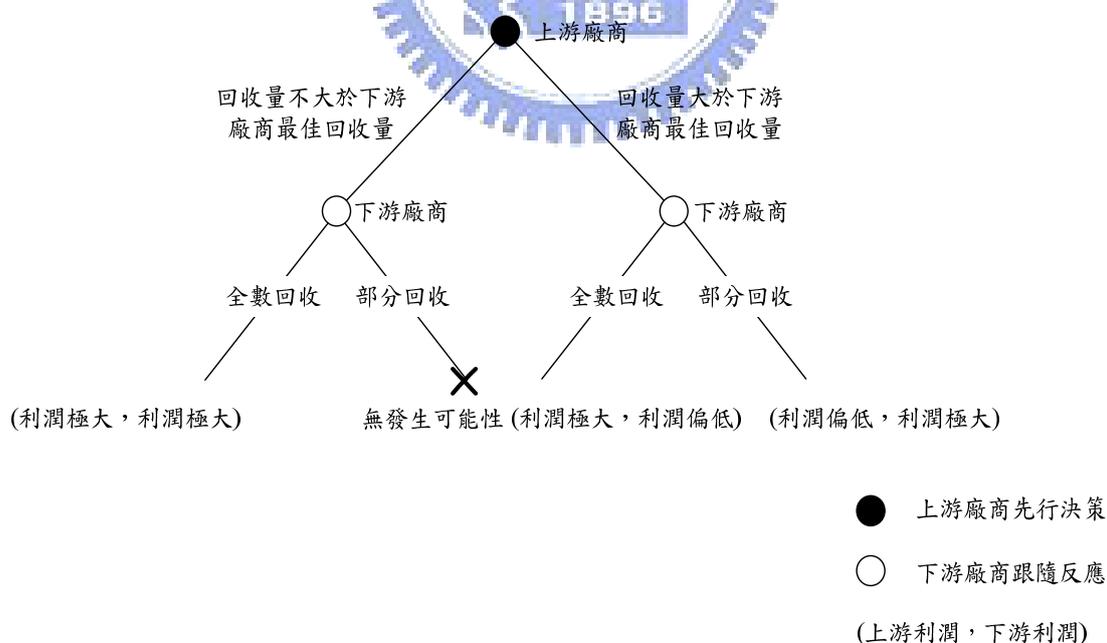


圖 16 回收量為決策變數非線性模型之回收情境示意圖

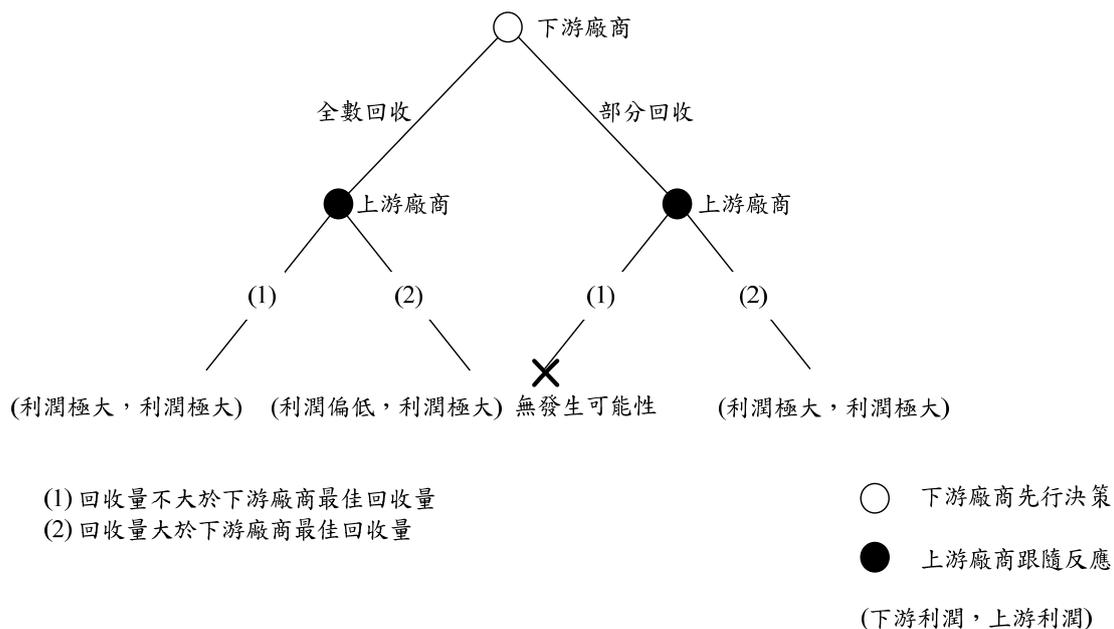


圖 17 收購價格為決策變數非線性模型之回收情境示意圖

此外，在供給函數為非線性之模型中發現，政府站在提升上游回收量的立場，選擇補助上游廠商是較佳選擇，原因可分為以下幾點：

1. 補助上游廠商雖可直接刺激消費者增加回收意願，但在回收量為決策變數之模型中，政府選擇補助下游廠商原因在於，在上游面對一個消費者端能反應出較高之回收量的回收市場機制下，政府若選擇補助下游廠商，方能刺激下游廠商增加下游處理量，間接帶動上游回收量。
2. 在收購價格為決策變數之模型中，由於上游廠商必須透過制定較高之收購價格刺激消費者端，極有可能不敷成本，政府為提高回收量，必然選擇補助上游廠商，使上游廠商保有回收處理意願。

第六章 結論與未來研究方向

我國環保署自民國八十七年成立基管會，利用兩階段政策工具為基礎運行資源回收系統，先與相關責任業者徵收稅率，進而補助給資源回收業者。現行政策雖制訂了最佳徵收稅率與補貼費率，但基金盈虧之實卻時有所聞，表示在制定費率水準方面仍存有潛在問題。透過往例得知，基管會提供之補貼費集中於最下游處理商，相關文獻也並未對於補助對象加以著墨。故本研究擬建構基本兩階政府補助模型，探討政府補助對象之選擇對於資源回收系統會產生何種影響。

6.1 結論

產品壽期結束之回收工作，隨著全球環保意識提升而愈受重視。為了降低有限自源之耗損與環境負面外部性，自經濟學者從前提出庇古稅之理論，延伸生產者責任制，僅單方面的要求相關業者負擔其社會責任，現今已演變為兩階段政策工具，透過提供消費者與資源回收業者補助誘因，誘使回收業者與消費者維持回收行為之意願，使資源回收系統運行更盡臻美。

我國現行資源回收系統中，基管會雖針對徵收費率與補貼費率加以修正，但補助對象集中於最下游之處理業者，造成消極的處理回收量，卻無法實際提升市面上廢棄物回收數量之狀況；再者，回收商自始面對消費者未知的回收意願，至終處理商二次料市場之原物料價格，各廠商之決策皆可能影響回收量多寡，甚至造成政府補助政策失靈之窘境。有鑑於此，本研究採用賽局理論中 Stackelberg 模型作為建構模型之基礎，以分權式的概念，探討系統中不同先行者與跟隨者之決策與回收市場情況，是否影響政府補貼對象之選擇與原則，以及對於系統行為造成何種衝擊。依據本研究所提出之模型，經由探討可發現以下幾個特點：

1. 本研究證實政府在良好的補助對象選擇下，能夠達到增加上游或下游回收量之目標，並能為資源回收業者，帶來更高之系統總利潤。

2. 無論決策先行者為上游回收商或下游處理商，透過補助上游廠商，可直接刺激上游回收量。唯有在回收市場之消費者回收意願高，較易反映出高度回收量時，選擇補助下游廠商，使得上游保有高回收量的同時，下游仍能維持較高之處理量。
3. 無論回收市場中供給函數（期望回收函數）為何種型態（線性或非線性），市場機制與回收狀況相對應之同情境下，政府補助對象之選擇會相同，但整體而言，供給函數所代表之市場型態，會影響政府補貼之選擇，如表 8 所示，而其中可以歸納出以下幾點：
 - (1) 在下游廠商全數回收上游提供之回收量時，政府在良好的補助對象選擇下，可同時增加上游與下游之回收量。
 - (2) 在下游廠商部分回收上游提供之回收量時，政府無論補助何種廠商，皆能提供其回收誘因，隨政府之立場應選擇增加市場回收數量，或是最終處理量，來選擇不同之補助對象，而政府在為求市場回收數量極大之情況下，可選擇補助上游廠商，但此時容易造成囤積之情形。
 - (3) 在上游廠商為決策先行者時，無論下游廠商做何種回收模式之決策，依據消費者市場對於收購價格的敏感程度不同，政府之補貼對象選擇也有所差異。
 - (4) 在上游廠商為決策跟隨者時，無論下游廠商做何種回收模式之決策，政府為求市場回收數量極大之情況下，可補助上游廠商。

表 8 線性與非線性供給函數模型補助政策總整理表

下游廠商	模型一（回收量決策變數）		模型二（收購價格決策變數）
全數回收	$\beta_1 \geq \beta_2$ 補助下游廠商 $\Delta q_1^{B*} > 0$ $\Delta q_2^{B*} > 0$	$\beta_1 < \beta_2$ 補助上游廠商 $\Delta q_1^{B*} > 0$ $\Delta q_2^{B*} > 0$	補助上游廠商 $\Delta q_1^{B*} > 0$ $\Delta q_2^{B*} > 0$
	補助上游廠商 $\Delta q_1^{U*} > 0$ $\Delta q_2^{U*} = 0$		補助上游廠商 $\Delta q_1^{U*} > 0$ $\Delta q_2^{U*} = 0$

4. 在本研究模型中，各補助情境為相互獨立，政府可藉由不同參數條件與市場情況，推斷資源回收業者之可能回收行為，加以選擇最適宜之補助政策。

6.2 未來研究方向

接續 Hong *et al.* (2007) 探討資源回收系統補貼與徵收的最適費率，本研究進而針對政府補貼對象之選擇加以探討，但仍無法完全消匿現行資源回收系統之所有問題，未來仍可透過以下幾點，來補足本研究不完善之處：

1. 設計配合不同回收產業類別之資源回收系統模型

本研究僅建立兩階層之補助模型，針對不同產業類別，其回收過程必有所差異，往後可針對不同產業類別之回收架構，更廣義的探討屬於每種回收業之補助情形，以幫助政府達到更佳的補助效益。

2. 相關參數取得之準確性

由於本研究可導出系統中各參與者之決策解析解，目前對於相關參數數據資料不甚足夠，未來可透過相關產業領域之專家學者，進行調查研究，透過真實數據之案例分析，使計算結果更有參考價值且符合實際情況。

3. 補助模型中考慮社會福利項目

本研究目前僅針對政府追求極大回收量之目標探討補助政策，雖可獲得選擇最佳

補助對象，可達到回收市場參與者之生產者剩餘極大，但對於消費者及二次料市場之影響並未探討，未來可納入考慮社會福利項目，使政府補貼之影響更全面且具有經濟意義。

5. 研究並解決補助之後帶來之衍生問題

無論補助對象為何，皆有可能帶來接續的問題，必須要更加完整性的模型、專家意見與市場詳細資訊，才能實際提出政府補助並兼顧回收業者與消費者之決策。



参考文献

- Aiyoshi, E., and K. Shimizu. 1981. Hierarchical decentralized systems and its new solution by a barrier method. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **11** 444-449.
- Aiyoshi, E., and K. Shimizu. 1984. A solution method for the static constrained Stackelberg problem via penalty method. *IEEE Transactions on Automatic Control* **29** 1111-1114.
- Al-Khayyal, F., R. Horst, and P. Pardalos. 1992. Global optimization of concave functions subject to quadratic constraints: An application in nonlinear bilevel programming. *Annals of Operations Research* **34** 125-147.
- Bard, J. F., and J. Falk. 1982. An explicit solution to the multi-level programming problem. *Computers and Operations Research* **9** 77-100.
- Bard, J. F., and J. T. Moore. 1990. A branch and bound algorithm for the bilevel programming problem. *Journal of Scientific and Statistical Computing* **11** 281-292.
- Bansal, S., and S. Gangopadhyay. 2003. Tax/subsidy policies in the presence of environmentally aware consumers. *Journal of Environmental Economics and Management* **45** 333-355.
- Baumol, W. J., and W. E. Oates. 1988. *The Theory of Environmental Policy* 2th Edition. New York: Cambridge University Press.
- Bracken, J., and J. McGill. 1973. Mathematical programs with optimization problems in the constraints. *Operations Research* **21** 37-44.
- Bracken, J., and J. McGill. 1974. Defense applications of mathematical programs with optimization problems in the constraints. *Operations Research* **22** 1086-1096.
- Bracken, J., and J. McGill. 1978. Production and marketing decisions with multiple objectives in a competitive environment. *Journal of Optimization Theory and Applications* **24** 449-458.
- Bialas, W., M. Karwa., and J. Shaw. 1980. A parametric complementary pivot approach for two-level linear programming. Technical Report 80-2, State University of New York at Buffalo, Operations Research Program.
- Candler, W., and R. Townsley. 1982. A linear two-level programming problem. *Computers and Operations Research* **9** 59-76.

- Chau, K.-W., S.-K. Wong, and C.-Y. Yiu. 2005. Improving the environment with an initial government subsidy. *Habitat International* **29** 559-569.
- Dowlatshahi, S. 2000. Developing a theory of reverse Logistics. *Interfaces* **30**(3) 143-155.
- Edmunds, T. A., and J. F. Bard. 1991. Algorithms for the nonlinear bilevel mathematical programs. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **21**(1) 83-89.
- Fernandez R., and R. Rogerson. 1995. On the political economy of education subsidies. *The Review of Economic Studies* **62**(2) 249-262
- Fortuny-Amat J., and B. McCarl. 1981. A representation and economic interpretation of a two-level programming problem. *Journal of Operation Research* **32** 783-792.
- Fullerton, D., and A. Wolverton. 1997. The case for a two-part instrument presumptive tax and environmental subsidy. Working paper5993. National Bureau of Economic Research.
- Fullerton, D., and A. Wolverton. 2005. The two-part instrument in a second-best world. *Journal of Public Economics* **89** 1961-1975.
- Fullerton, D., and T. Kinnaman. 1995. Garbage, recycling, and illicit burning or dumping. *Journal of Environmental Economics and Management* **29** 78-91.
- Gibbons, R. 1992. *Game Theory for Applied Economists*. New Jersey: Princeton University Press.
- Hong, I-H, T. Assavapokee, J. Ammons, C. Boelkins, K. Gilliam, D. Oudit, M. J. Realff, J. M. Vannicola, and W. Wongthatsanekorn. 2006. Planning the e-scrap Reverse Production System Under Uncertainty in the State of Georgia : A Case Study. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* **29**(3) 150-162.
- Hong, I-H., Y.-C. Chang, and C.-S. Cheng. 2007. Studies on subsidy and disposal fee determination in e-scrap reverse supply chain. *The 8th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System*.
- Irwin D. A. and P. J. Klenow. 1996. High-tech R&D subsidies estimating the effects of Sematech. *Journal of International Economic* **40** 323-344.
- Klette T. J., J. Moen, and Z. Griliches. 2000. Do subsidies to commercial R&D reduce market failures? Microeconomic evaluation studies. *Research Policy* **29** 471-495
- Kolstad, C. D., and L. S. Lasdon. 1990. Derivative estimation and computational experience

with large bilevel mathematical programs. *Journal of Optimization Theory and Applications* **65** 485-499.

Lee, C.-H., S.-L. Chang, K.-M. Wang, and L.-C. Wen. 2000. Management of scrap computer recycling in Taiwan. *Journal of Hazardous Materials* **A73** 209-220.

Majumder, P., and H. Groenevelt. 2001. Competition in manufacturing. *Production and Operations Management*. **10**(2) 125-141.

Palmer, K., and M. Walls. 1997. Optimal policies for solid waste disposal taxes, subsidies, and standards. *Journal of Public Economics* **65** 193-205.

Pigou, A. 1920. *The Economics of Welfare*. MacMillan, London.

Pindyck, R. S., and D. L. Rubinfeld. 2005. *Microeconomics* 6th Edition. Pearson Education Ltd.

Peltzman S. 1973. The effect of government subsidies-in-kind on private expenditures: The case of higher education. *The Journal of Political Economy* **81**(1) 1-27

Savaskan, R. C., and L. N. V. Wassenhove. 2006. Reverse channel design : The case of competing retailers. *Management Science* **52**(1) 1-14.

Sherali, H. D., A. L. Soyster and F. H. Murphy. 1983. Stackelberg-Nash-Cournot equilibria: characterizations and computations. *Operations Research* **31** 253-276.

Sigman, H. 1995. A comparison of public policies for leading recycling. *RAND Journal of Economics* **26**(3) 452-478.

Spencer B. J., and J. A. Brander. 1983. International R & D rivalry and industrial strategy. *The Review of Economic Studies* **50**(4) 707-722.

Stackelberg, H. F. V. 1934. Marktform und Gleichgewicht (Market and Equilibrium) , Vienna.

Tibben-Lembke, R. S., and D. S. Rogers. 2002. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management* **7** 271-281.

Tirole, J. 1988. *Theory of Industrial Organization*. Cambridge: MIT Press.

Winston, W. L. 1991. *Operations Research: Applications and Algorithms* 3th Edition. Boston: Duxbury Press.

溫麗琪 (2005), 「廢棄物回收處理費之回收處理市場及誘因效果」。人文及社會科學集刊第十七卷第三期 (94/9) 491-520.

柏雲昌、錢玉蘭(1998),「一般廢棄物回收體系之檢討與建制」。行政院環保署研究計畫,中華經濟研究院。

