

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

(計畫名稱)

應用賽局方法於逆向供應鏈之決策(I)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-009-085-

執行期間：2007年08月01日至2008年07月31日

計畫主持人：洪一薰

共同主持人：

計畫參與人員：鄧志鋒、葉潤生、柯志賢、許修齊

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 工業工程與管理學系

中華民國 97 年 10 月 15 日

中文摘要

分權式逆向供應鏈 (Decentralized reverse supply chains)，是由一群獨立運作的個體所組成，個體在系統中代表不同的功能，如回收商 (Collectors)、集中商 (Consolidation sites) 或處理商 (Processors)，而個體中通常也互相競爭來自上游之回收物料。逆向供應鏈系統經常是由一群各自獨立運作的個體所組成，每個獨立的個體在決策時有各自的考量，個體的決策變數會影響到其它個體的表現，其它個體的決策也會影響到各自的表現。個體間的決策會互相影響，且個體也不願意將自己的資訊提供給其它個體或向大眾揭露。此種型態之系統，稱之為分權式 (Decentralized) 系統。本研究考慮多階分權式逆向供應鏈系統，假設該系統由上游邊界層、中間階層及下游邊界層所組成。每個階層由一群獨立運作的個體所組成，上游個體經由制定價格-流量合約與其下游個體所溝通，而下游個體訂定物料之收購價格。本研究設計分權式決策過程機制及求解獨立運作個體之決策變數：價格-流量合約關係及均衡收購價格。

關鍵字：分權式逆向供應鏈；價格-流量合約關係；均衡收購價格

英文摘要

A decentralized reverse supply chain system is composed of independent entities that fulfill the functions of collectors, consolidation sites, or processors who often compete within one another. Many emerging reverse supply chain structures consist of several independent entities where individual entrepreneurs have their own profit functions and often are unwilling to reveal their own information to each other or the public. This type of system behavior is *decentralized*. Often the decision variables for each entity in a decentralized system are also influenced by other entities' decisions, coupling prices between members of the same tier, and flows between supply chain tiers. We consider a general model of decentralized reverse supply chain systems comprised of an upstream boundary tier, intermediate tiers, and a downstream boundary tier. Each tier is populated by multiple independent entities and is connected to its upstream and downstream neighbors by material flows. The upstream tier coordinates with its downstream neighbor through a price-flow contract, and the downstream tier determines equilibrium acquisition prices.

Key words: decentralized reverse supply chains; price-flow contract; equilibrium acquisition price

一、研究背景與目的

由於環保意識之重視及近年在許多天然災害中，大自然對於人類過度耗用資源所產生反撲的現象，再者，近年來原物料的價格也持續上漲(DOC 2004)，綠色供應鏈(Green supply chains)的概念已在世界各國受到產、官、學界的重視，許多國家分別將環保意識落實為強制的明文要求，如歐盟的 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive)及 RoHS(Reduction of Hazardous Substances Directive)或尚在立法中的 REACH(Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals)及 EuP(Eco-design requirements for energy-using products)。

逆向供應鏈(Reverse supply chains)為綠色供應鏈內重要的一環，如何分析壽期終了之產品從終端消費者進入回收體系，使得廢棄之產品能夠分解再利用，成為現今之一大課題，也是潛在的商機。以美國為例，約有 73,000 家企業從事與回收再製造相關的活動，年總產值也達到 350 億美金(Hauser and Lund 2003)及一年提供了 480,000 個工作機會(NC3R 2006)。再者，依據(Rogers and Tibben-Lembke 1999)的估計，一般而言，總物流成本的花費中約有 4%是用於逆向回收物流的活動上，而 Bowersox and Calantone(1998)估計在 1996，全世界物流成本的花費為美金 3.43 兆，換言之，全世界逆向物流成本約佔有美金 1,372 億。另一方面，世界各國環保法規對電子資訊產業影響甚鉅，台灣資訊產品外銷產值巨大，影響所及，不只訂單大小，更關係到供應鏈廠商的生存，台灣的資訊產業已在正向供應鏈(Forward supply chains)，即傳統之供應鏈，在世界上已扮演一舉足輕重的地位，為了因應市場環保法規的要求，勢必在逆向供應鏈裏扮演重要的關鍵角色，將整個供應鏈轉變為一封閉型(Closed-loop)的循環，不僅從產品設計、研發、製造到販賣給終端消費者，再從終端消費者回收壽期終了之產品，進而分解再利用，這整個程序的整合必能促進台灣電子資訊產業總產值再提升，且增加產品獲利率。

逆向供應鏈(Reverse supply chains)是一個多階層的網路系統(Multi-tiered network systems)，如圖 1 所示，且在每個不同的階層中通常由多個獨立運作的個體所組成，以資訊產品為例，逆向供應鏈是由數個回收商(Collectors)、集中商(Consolidation sites)及處理商(Processors)所組成。回收商的角色可能是由一般的零售店來扮演，回收商從學校、政府機關、民間企業或個人家戶回收壽期結束之資訊產品(如：電腦、印表機、螢幕等)，而回收商將廢棄之電子資訊產品運送到集中商，以做初步的整理，分類出堪用或完全廢棄之產品，並運送至處理商，處理商通常作更進一步的分解再處理，如分解廢棄之資訊產品，取出其中的貴金屬及可再次利用之原物料，處理商也對堪用之廢棄資訊產品再次加工及維修，並於二手市場中出售，除此之外，回收商或集中商亦可能直接將回收物料於二手市場或原物料市場中出售，不再經由下游廠商，舉例而言，集中商將所收集到的廢棄資訊產品做初步分解處理後，將其中的塑料直接拆解而於原物料市場中出售，不再經由處理商，而其它初步拆解後之零組件(如硬碟，主機板等)仍繼續運送至處理商做後續處理。

除了上述實體物流方面，本文以圖 1 中之虛線來表示在逆向供應鏈系統中「現金流」部份。一般而言，處理商向集中商購買已初步分類之廢棄資訊產品，而集中商向回收商購買所收集之產品，同樣的，當民眾、企業或機關團體將報廢之資訊產品交由回收商時，通常回收商會給予補貼費，以鼓勵資訊產品使用者在產品壽期結束之後，將資訊產品交由回收商來處理，然而，對於某些廢棄電子產品(如傳統映像管顯示器即為一例)，分解、處理流程本身對整個逆向供應鏈並無法創造出正向的利潤，回收處理此類產品(映像管顯示器)所需付出的成本高於所產生的收益，所以，以美國喬治亞州為例，回收商向學校、政府機關、民間企業或個人收取回收處理費(見 Hong et al. 2006)，意即回收商並不全然向學校、政府機關、民間企業或個人購買廢棄之電子資訊產品。

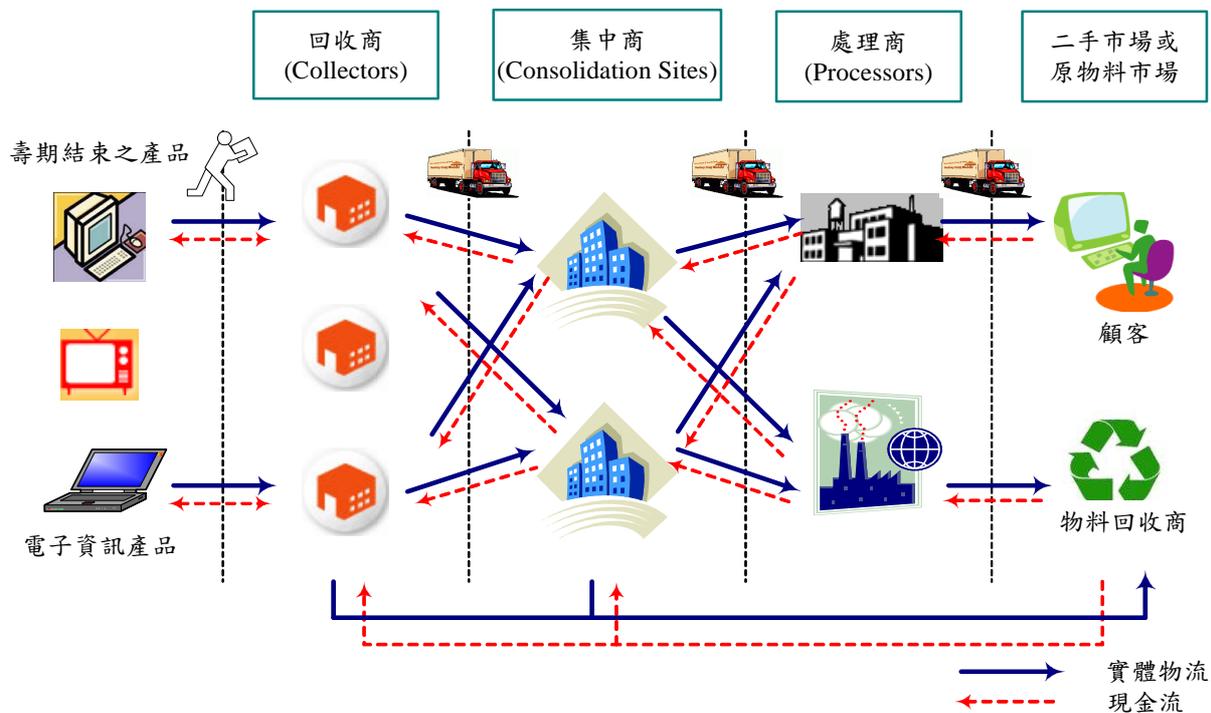


圖 1：逆向供應鏈系統示例

大部份關於逆向供應鏈規劃之文獻中以中央集權式 (Centralized) 模型為主，在中央集權式系統中，系統規劃者知悉每個個體的相關資訊，譬如產能限制、產品處理成本、運送成本等，系統規劃者並可決定及訂定每個個體之決策變數。然而，Wang et al. (2004) 針對中央集權式系統指出三個主要的缺點：(1) 中央集權式模型並無法描述個體間的競爭行為及忽略個體獨自決策之機制，導致中央集權式模型經常高估真實系統之表現；(2) 在中央集權式模型中，系統決策者必需收集個體之資訊，而收集資料本身是一個高成本之過程；(3) 中央集權式模型可能須要很長的求解時間。

供應鏈系統經常是由一群各自獨立運作的個體所組成，每個獨立的個體在決策時有各自的考量，自己的決策變數會影響到其它個體表現，其它個體的決策也會影響到各自的表現，個體間的決策通常會互相影響，且每個個體也不願意將自己的資訊提供給其它個體或向大眾揭露。此種型態之系統，稱之為分權式 (Decentralized) 系統。本文以圖 2 表示中央集權式與分權式規劃方法之不同，圖 2 示例中之節點可視為系統中之個體，在中央集權式規劃方法中，系統規劃者控制並制定系統中個體的決策變數，但在分權式規劃方法中，系統中的每個節點均為獨立運作之個體，並自行決定個體之決策變數。

分權式規劃方式主要以賽局理論為基礎，求解納許均衡解 (Nash equilibrium solutions)。在納許均衡解之下，分權式系統中之每一位個體，基於其它個體目前之最佳策略，納許均衡解為個體之最適反應 (Best response)，換言之，達到納許均衡解之後，系統中的任何個體沒有任何誘因偏離此納許均衡解 (Gibbons 1992; Fudenberg and Tirole 1991)。綜合上述的分析，本研究計畫之主要兩大目的描述如下：

1. 針對分權式逆向供應鏈 (Decentralized reverse supply chains) 系統，提出分權式決策過程機制之設計，定義與模式化每個相關個體的決策變數及規劃問題，並求解每個獨立運作個體之決策變數。
2. 以發展出之分權式逆向供應鏈系統模式為分析工具，比較中央集權式及分權式規劃方式之不同，由此可得知系統規劃者如果以中央集權式來規劃實際上為分權式系統之差異。再者，分權式逆向供應鏈系統模式亦可作為政府分析相關環境政策之工具。

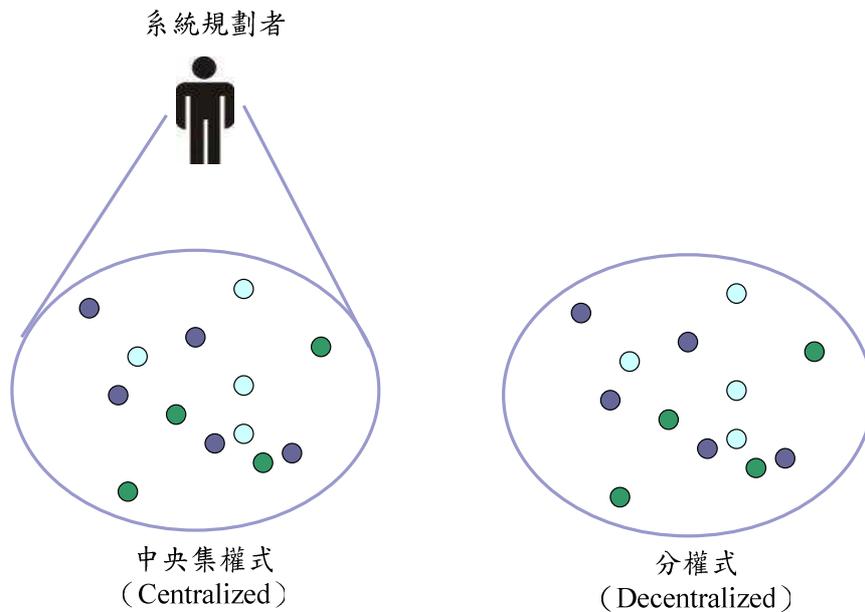


圖 2：中央集權式與分權式圖例

二、文獻探討

部份文獻已針對正向或逆向供應鏈 (Forward or reverse supply chains) 提出分權式規劃方式之模型。Corbett 與 Karmarkar (2001) 針對多階串列式供應鏈系統求解新進者是否進入市場之決策及新進者一旦選擇進入市場後的訂價決策；Majumder 與 Groenevelt (2001) 針對回收再生的產品影響新產品的需求情況下，分析原廠製造商自行生產與委由當地製造商代為生產此兩種模式之競爭行為；Guide et al. (2003) 針對在只有一家處理商的情況下，求解最佳收購價格及最佳訂價模式；Savaskan et al. (2004) 對品牌製造商分析三種不同的回收模式：委由零售商回收、交由第三者回收 (Third-party firm) 或自行回收；Savaskan and Van Wassenhove (2006) 分析不同的逆向物流系統的網路設計：直接從消費者端回收或是經由零售商回收。除此之外，供應鏈協同合作 (Supply chain coordination) 指在供應鏈系統中，採購、生產及配送等主要過程中，獨立個體間的協同合作，Lee and Rosenblatt (1986) 針對買賣雙方協同階段 (Buyer-vendor coordination) 訂定經濟訂購批量及數量折扣價格、Williams (1981) 針對生產-存貨協同合作階段 (Production-inventory coordination) 求解最小運輸成本問題、Clark and Scarf (1960) 針對存貨-配送協同合作階段 (Inventory-distribution coordination) 制定存貨政策。然而，上列所述文獻受限於模型本身網路架構複雜度，換言之，模型本身限制所能探討個體之數目或階層數。Nagurney and Toyasaki (2005) 應用 Variational Inequality 法求解一網路多階層分權式系統之價格流量問題，但其所求得之價格為隱性價格 (Endogenous price)，亦可稱之為影子價格 (Shadow price)，並無法描述真實系統中之交易價格。

此外，Cournot 及 Stackelberg 為常見之兩種分權式系統模型 (見 Hobbs 2001；Savaskan et al. 2004)。然而，在應用面來說，Cournot 模型違反「資訊不揭露」之原則，因為在 Cournot 模型中，個體必需將本身之最佳條件 (Optimality conditions) 告知系統規劃者，這違反了在分權式系統中，個體間不願意揭露本身資訊之假設。Stackelberg 模型又可稱之為 (Leader 及 Follower 問題)，Leader 藉由疊代 Follower 之最佳反應式 (Optimal response function) 而求得本身之最佳解，然後 Follower 也隨之求解其最佳解，此過程在一多階問題 (Multi-tiered problems) 中，由於疊代方法之使用，可能遭至「內隱」問題 (Implicit Problems)，再者，Stackelberg 模型也同樣違反「資訊不揭露」之原則，因為 Leader 需要得知 Follower 之最佳反應式。以上所述現今文獻之缺點促成本研究計畫之背景之一。

三、研究方法

本研究計畫以資訊、電子產業為例，透過圖 3 說明分權式逆向供應鏈系統之問題描述，圖 3 為一典型之逆向供應鏈系統，由數個回收商、集中商及處理商所組成，在第一階層（回收商）內，回收商面對的問題為如何制定壽期結束產品之收購價格及如何制訂與其下游個體（集中商）之價格-流量合約。相同的，第二階層（集中商）內，集中商面對的問題為如何制定向回收商收購回收物料之價格及如何制定與其下游個體（處理商）之價格-流量合約關係。最後，在第三階層（處理商）內，處理商的決策問題為如何制定向集中商收購回收物料之價格及在二手市場或原物料市場的最佳銷售數量為何。在每個階層內，每個個體皆獨立運作，決定各自的決策變數，但各自的決策變數會影響其它個體的目標函式，舉例而言，在第二階層中，若某一集中商，以較高之收購價格向其上游回收商收購回收物料，則其它的集中商所能收購的物料量可能會減少，因而影響了其它的集中商的目標函式。

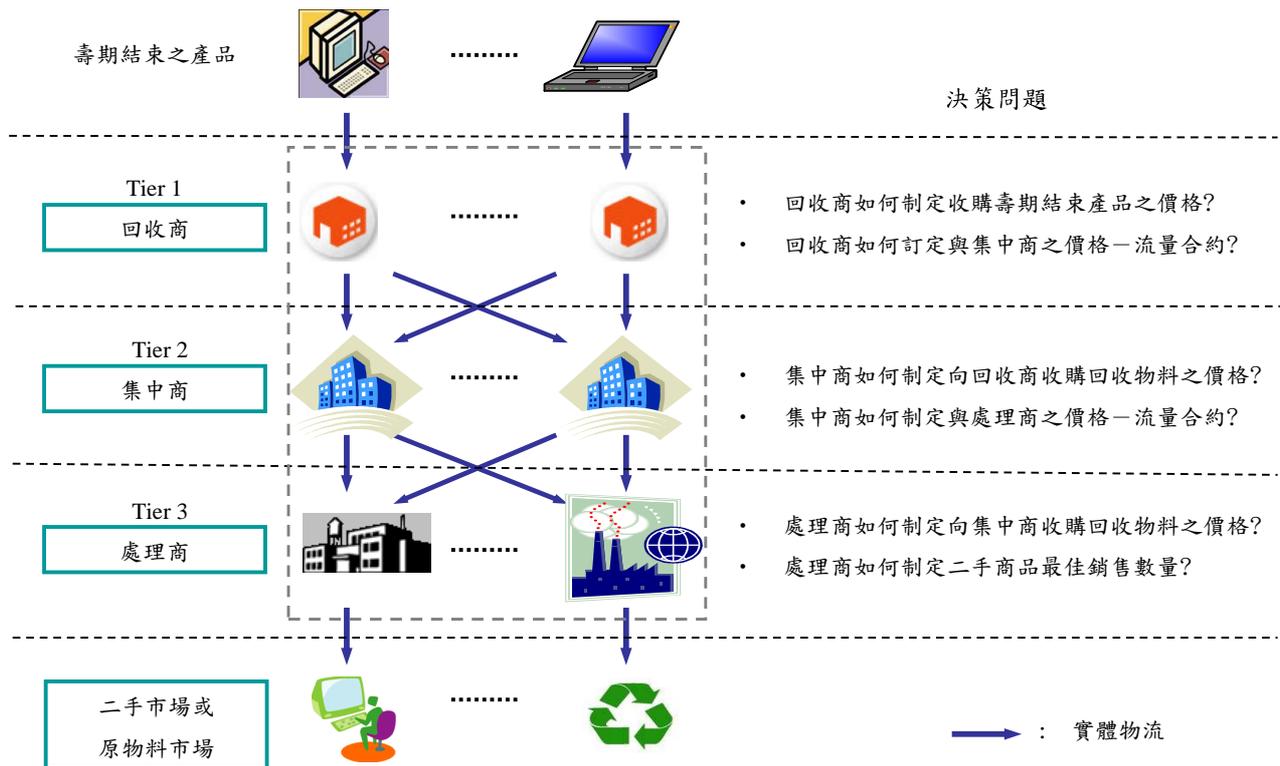


圖 3：分權式逆向供應鏈系統問題描述

經由以上分析可得知，針對逆向回收供應鏈系統，收購價格及流量分配為兩個主要的決策變數。本研究進一步建立多階分權式逆向供應鏈系統，假設該系統由上游邊界層（Upstream boundary tier）、中間階層（Intermediate tiers）及下游邊界層（Downstream boundary tier）所組成。上游邊界層（第 1 層）由 N_1 個獨立個體所組成、中間階層 m 由 N_m 個獨立個體所組成、下游邊界層（第 M 層）由 N_M 個獨立個體所組成。上游邊界層代表私營或公營回收商，中間階層泛指除了上游跟下游邊界層外之中間商，包含集中商、物料仲介商或初級處理商，下游邊界層包含最終處理商，分解或再處理之後，將物料於二手或原物料市場中出售。一般而言，回收物料由上游經中間階層運送至下游邊界層，各階層有專司處理之程序，由於系統是由各個獨立個體所組成，下游邊界層之個體向中間階層購買物料，中間階層個體向上游邊界層購買物料。本研究假設各階層之交易價格由下游廠商所訂定，換言之，下游邊界層之個體訂定本身願意以多少價格向其上游廠商購買物料，中間階層與上游邊界層之個體亦訂定各自願意以多少價格向其上游廠商購買物料。本研究之主要二大子題描述如下：

1. 針對分權式逆向供應鏈（Decentralized reverse supply chains）系統，提出分權式決策過程機制之設計，定義與模式化每個相關個體的決策變數及規劃問題。

2. 在分權式決策過程機制下，求解在作業階層 (Operational level) 中價格及流量的決策，意即每個獨立的個體願意以多少價格向其上游個體收購回收物料，及個體如何決定售予其下游個體的回收物料量。

五、計畫成果自評及建議

本研究所得之研究成果與績效可分別以下列子題作探討，以子題 1 及子題 2 分別說明之。

子題 1：分權式決策過程機制之設計

逆向供應鏈系統由數個階層所組成，每一階層中則由數個獨立的個體所組成，本研究假設上游個體設計價格-流量關係用來與其下游個體訂定合約，而在下游個體得知該合約之後，下游個體訂定最佳之收購價格，然後上游個體則依約供給下游回收之產品。我們假設上游邊界層與回收產品來源點 (機關學校、民間企業及個人家戶) 之間存在來源供給函式 (Source supply function)，即收購價格與回收量之關係。假設集合 $I_m = \{1, \dots, j, \dots, N_m\}$ 為第 m 層內之個體，我們先考慮上游邊界層內之個體 (I_1)，並假設 p_i 及 S_i 為個體 $i \in I_1$ 之收購價格及回收產品收購量，我們用一線性函式 $S_i = a_i + b_i p_i$ 來描述上游邊界層及回收產品來源點間之收購價格及收購量的關係，在此來源供給函式中， a_i 及 b_i 為給定之參數且 a_i 及 b_i 均為正數，若 p_i 為正數則表示上游邊界層向回收來源點收購物料，若 p_i 為負數則表示上游邊界層向回收來源點收取回收處理費。在此給定之來源供給函式中，我們另要求 $p_i \geq -a_i / b_i$ ， $i \in I_1$ ，以防止流量為負值之情況發生。此外，另一給定之參數為回收物料之最終市場價格，本研究假設該價格為一給定之固定參數，在原物料市場中，再生料 (Recycled materials) 的交易量遠低於原生料 (Virgin materials)，所以我們假設在逆向供應鏈系統中，最後一階層的個體並無法決定市場價格，而是市場價格的接受者 (Price takers)。圖 4 表示在一 M 階層分權式逆向供應鏈系統中，個體之決策流程 (Decision timeline)，上方的箭號代表各相關個體在相關時間點所採取的行動及決策的項目，下方的箭號代表各相關資訊在相關時間的揭露點。

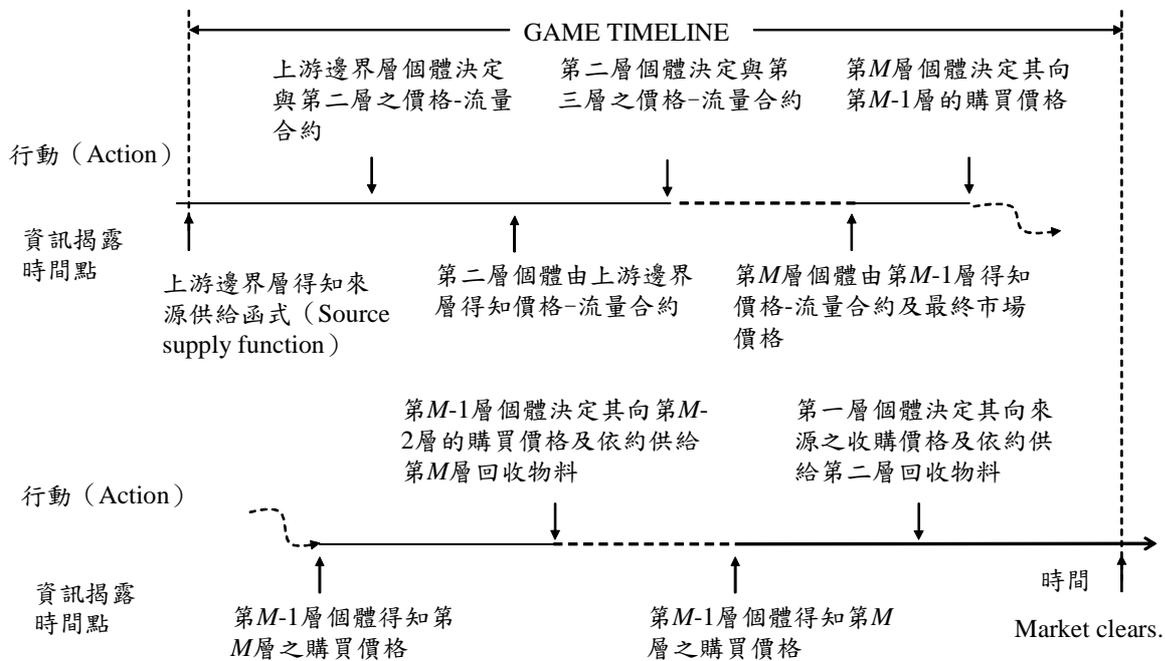


圖 4：M 階層之決策流程 (Decision timeline)

決策流程如圖 4 所示，由上游邊界層開始，上游邊界層在得知來源供給函式 (Source supply function) 之後，依照本身之目標式，訂定與其下一層個體之價格-流量合約，第二層在得知第一層所訂定之合約後，第二層個體也依本身之目標式，訂定與其第三層個體之價格-

流量合約，依此流程直到第 M 層（本模型中的最下游階層）得知來自第 $M-1$ 層之價格-流量合約，第 M 階層個體依照此資訊及最終市場價格來決定其本身最佳之收購價格，同樣的，第 $M-1$ 階層個體在得知，第 M 階層個體所提供之收購價格之後，第 $M-1$ 階層個體也決定其本身最佳之收購價格，依此類推，直到上游邊界層（第一階層）決定其本身最佳收購價格或回收處理費。在此同時，當下游個體決定收購價格時，上游個體依價格-流量合約供給回收物料。綜合以上決策流程，從上游個體到下游個體依序訂定價格-流量合約，另一方面，從下游個體到上游個體依序訂定收購價格。本研究之子題 2 針對此一決策過程機制，分析個體在流程中不同的決策時間點所需決策的變數。

子題 2：作業階層（Operational level）決策方法：價格及流量

在上游個體決定價格-流量合約關係後，並告知其下游相關個體此一合約內容，下游個體依照此合約，決定本身最佳之收購價格，本研究求解每個階層下游個體間之均衡收購價格（Equilibrium acquisition price），在此均衡價格下，個體無法藉由單方面的更改收購價格，使得本身的目標值更好，換言之，在此均衡價格下，當其它個體的收購價格不變時，個體本身的最佳收購價格為此均衡價格，此一性質符合納許均衡解（Nash equilibrium solution）之定義。本研究計畫在上述子題 1 的基礎上，發展求解一多階系統納許均衡解之方法。

從上述價格-流量合約關係的模組中，上游個體 $i \in I_{m-1}$ 求解其穩健之價格-流量關係（ α 's），如(1)所示，其中 $V_{ij}^{(Tr)}$ 為已知數，唯一之變數為下游個體 $j \in I_m$ 所提供之收購價格 p_j ，上游個體 $i \in I_{m-1}$ 決定此價格-流量合約關係之後，並以此合約做為與相關下游個體 $j \in I_m$ 協調所需供應的回收物料量之依據，即上游個體 $i \in I_{m-1}$ 依照下游個體 $j \in I_m$ 之收購價格及價格-流量合約內容，售予回收物料給下游個體。另一方面，(1)不僅表示上、下游之間的協調關係，也表示同一階層內個體對回收物料的競爭關係，即 (i, j) 的流量 $x_{ij}^{(Tr)}$ 不僅是下游個體 j 之收購價格 p_j 的函數，也是其它下游個體 j' 收購價格 $p_{j'}$ 的函數。

$$x_{ij}^{(Tr)} = \sum_{j' \in I_m} \alpha_{ijj'} (p_{j'} - V_{ij'}^{(Tr)}) \tag{1}$$

下游個體 $j \in I_m$ 在得知上游個體 $i \in I_{m-1}$ 所訂定之價格-流量合約之後，下游個體之決策變數為願意以多少之收購價格向其上游個體購買回收物料。下游個體考量其它競爭者之收購價格，本身之成本結構、所能處理的回收量、及處理後所能賣出之價格等因素，決定其最佳收購價格。本研究計畫針對兩階層之逆向供應鏈系統（如圖 5 所示），探討下游個體如何在分權式架構下決定個體間的納許均衡收購價格。

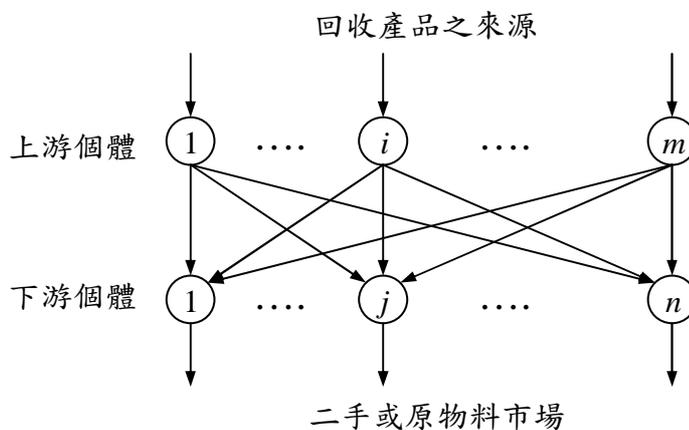


圖 5：兩階層之逆向供應鏈系統

下游個體 j 在考慮收購、處理成本、回收收益、及本身產能限制下求解其最佳之收購價格 p_j ，下游個體 j 之參數及決策變數如下表所示。

下游個體 j 模型參數：

$P_j^{(Sa)}$	下游個體 j 回收物料賣出價格；
$C_j^{(Pr)}$	下游個體 j 回收物料最大處理量；
$C_{ij}^{(Tr)}$	從上游個體 i 到下游個體 j 之最大運輸量；
$V_{ij}^{(Tr)}$	從上游個體 i 到下游個體 j 之單位運輸成本。

下游個體 j 模型決策變數：

p_j	下游個體 j 向上游個體收購之價格；
$x_{ij}^{(Tr)}$	從上游個體 i 到下游個體 j 之物料運輸量。

下游個體 j 決策模型如下所示：

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize} && \sum_{i=1}^m (P_j^{(Sa)} - p_j) x_{ij}^{(Tr)} && (2) \\
 & \text{Subject to:} && x_{ij}^{(Tr)} = \sum_{j'=1}^n \alpha_{ijj'} (p_{j'} - V_{ij'}^{(Tr)}) && \forall i \quad \text{價格-流量合約關係之型式} \\
 & && \sum_{i=1}^m x_{ij}^{(Tr)} \leq C_j^{(Pr)} && \text{處理產能限制} \\
 & && x_{ij}^{(Tr)} \leq C_{ij}^{(Tr)} && \forall i \quad \text{運輸量限制} \\
 & && x_{ij}^{(Tr)} \geq 0 && \forall i \\
 & && p_j \geq 0 && \text{變數符號限制}
 \end{aligned}$$

本研究討論單一類回收物料，因此假設從不同上游個體所售予下游個體之回收物料視為相同，所以加總下游個體 j 所收集之物料量 $x_j^{(Tr)}$ 以(3)表示之。

$$x_j^{(Tr)} = \sum_{i=1}^m x_{ij}^{(Tr)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j'=1}^n \alpha_{ijj'} (p_{j'} - V_{ij'}^{(Tr)}) \quad \forall j \quad (3)$$

本研究以 Relaxation algorithm (見 Krawczyk and Uryasev 2000; Contreras et al. 2004)。Relaxation algorithm 求解方法為反覆式 (Iterative) 逼近均衡解之過程，在每一步驟中，每個下游個體依照其它下游個體上一期的收購價格，找出本身最佳之收購價格，此一過程依次進行直到每個下游個體沒有誘因去偏離目前的收購價格，則此價格為均衡收購價格。Relaxation algorithm 之求解過程以(4)表示，其中 \mathbf{p}^s 為第 s 期所有下游個體之收購價格解， $Z(\mathbf{p}^s)$ 為基於第 s 期所有下游個體之收購價格解，下游個體 j 第 $s+1$ 期之最佳反應式， β^s 為給定之 0 到 1 之係數，即第 $s+1$ 期之下游個體收購價格可表示為第 s 期收購價格與最佳反應收購價格之凸組合 (Convex combination)。

$$\mathbf{p}^{s+1} = (1 - \beta_s) \mathbf{p}^s + \beta_s Z(\mathbf{p}^s) \quad s = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Relaxation algorithm 為一反覆式 (Iterative) 演算法，演算過程亦符合分權式系統中，個體不揭露本身之訊息予其它個體之假設，在 Relaxation algorithm 中，每個下游個體並不知道其它下游個體本期之收購價格，只知道其它下游個體收購價格之歷史資料，而依此資訊來決定本身之最佳收購價格。圖 6 列出兩階層逆向供應鏈系統之求解過程，方塊中之數字代表決策過程之步驟，上游個體決定價格-流量合約關係後，將此合約告知下游個體，下游個體依此訂定收購價格，在訂定收購價格過程中，每個下游個體只能知悉其它下游個體之前收購價格

的歷史資料，並無法得知該期其它下游個體所決定的最佳收購價格。

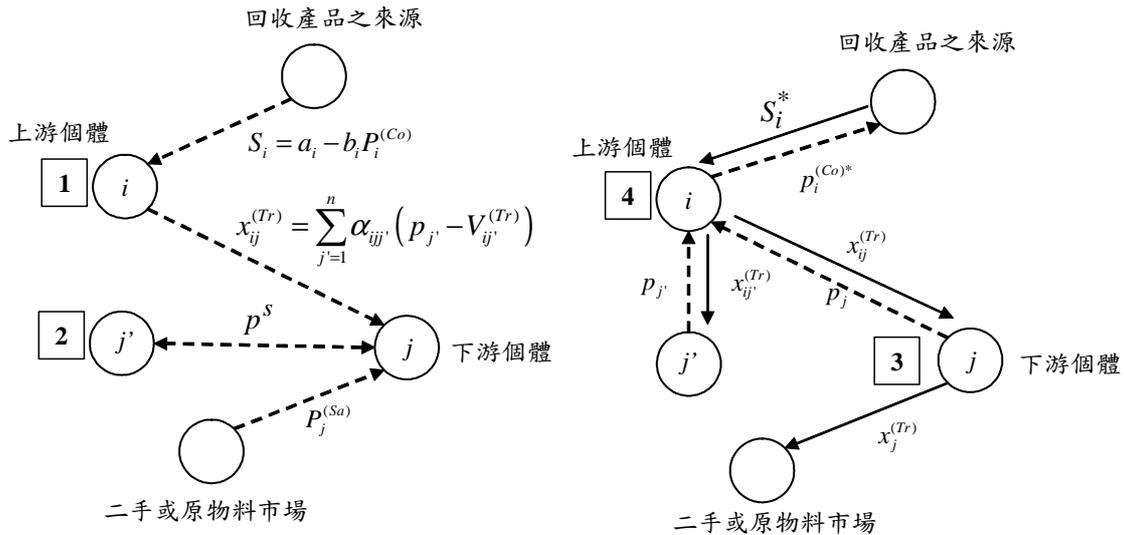


圖 6：兩階層逆向供應鏈系統之求解過程

在上游個體決定價格-流量合約關係後，並告知其下游相關個體此合約內容，下游個體依照此合約，決定本身最佳之收購價格，本研究求解每個階層下游個體間之均衡收購價格 (Equilibrium acquisition price)，在此均衡價格下，個體無法藉由單方面的更改收購價格，使得本身的目標值更好，換言之，在此均衡價格下，當其它個體的收購價格不變時，個體本身的最佳收購價格為此均衡價格，此一性質，符合納許均衡解 (Nash equilibrium solution) 之定義。本研究部份研究結果，已被 *International Journal of Production Economics* 所接受¹。本研究後續可針對分權式 (Decentralized) 及中央集權式 (Centralized) 決策方法比較規劃結果之差異，驗證是否若以中央集權式決策方法來描述分權式供應鏈系統，所求得之結果容易過分樂觀預期系統之表現。再者，也可針對環境政策或法規對於逆向供應鏈系統的運作之影響做為後續研究之方向。

參考文獻

- Bowersox D. J., R. J. Calantone. 1998. Executive insights: Global logistics. *Journal of International Marketing*. Chicago 6(4) 83-93
- Clark, A. J., H. Scarf. 1960. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management Science* 6 475-490.
- Contreras, J., M. Klusch, J. B. Krawczyk. 2004. Numerical solutions to Nash-Cournot equilibria in coupled constraint electricity markets. *IEEE Transactions on Power Systems* 19(1) 195-206.
- Corbett, C. J., U. S. Karmarkar. 2001. Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand. *Management Science* 47(7) 966-978.
- DOC (Department of Commerce). 2004. Public Document. <http://ia.ita.doc.gov/download/utptf/comments/essc-utp-cmt.pdf>. Accessed 23 May 2006.
- Fudenberg D., J. Tirole. 1991. Game Theory. MIT Press.
- Gibbons, R. 1992. Game Theory for Applied Economists. Princeton University Press.
- Guide, V. D. R., T. P. Harrison. 2003. The challenge of closed-loop supply chains. *Interfaces*

¹ Hong, I-Hsuan, Jane C. Ammons, and Matthew J. Realf, "Decentralized decision-making and protocol design for recycled material flows," Forthcoming in *International Journal of Production Economics*. (Accepted August 2008)

- Hauser W. and R. Lund. 2003. Remanufacturing: An American Resource. <http://www.bu.edu/rema/RemanSlides.pdf>, Boston University.
- Hobbs, B. F. 2001. Linear complementarity models of Nash-Cournot competition in bilateral and POOLCO power market. *IEEE Transactions on Power Systems* **16**(2) 194-202.
- Hong, I-H., T. Assavapokee, J. C. Ammons, C. Boelkins, K. Gilliam, D. Oudit, M. J. Realff, J. M. Vannicola, W. Wongthatsanekorn. 2006. Planning the e-scrap reverse production system under uncertainty in the state of Georgia: a case study. To appear in *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*.
- Krawczyk, J. B., S. Uryasev. 2000. Relaxation algorithms to find Nash equilibria with economic applications. *Environmental Modeling and Assessment* **5** 63-73.
- Lee, H. L., M. J. Rosenblatt. 1986. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier profits. *Management Science* **32**(9) 1177-1185.
- Majumder, P., H. Groenevelt. 2001. Competition in remanufacturing. *Production and Operations Management* **10**(2) 125-141.
- Nagurney, A., F. Toyasaki. 2005. Reverse supply chain management and electronic waste recycling: a multitiered network equilibrium framework for e-cycling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **41**(1) 1-28.
- NC3R: National Center for Remanufacturing and Resource Recovery. 2006. Remanufacturing Industry Timeline. www.reman.rit.edu/timeline.aspx, Rochester Institute of Technology.
- Rogers, D.S., R.S. Tibben-Lembke 1999. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, PA: Reverse Logistics Executive Council.
- Savaskan, R. C., S. Bhattacharya, L. N. Van Wassenhove. 2004. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science* **50**(2) 239-252.
- Savaskan, R. C., L. N. Van Wassenhove. 2006. Reverse channel design: The case of competing retailers. *Management Science* **52**(1) 1-14.
- Wang, C.-H., J. C. Even Jr., S. K. Adams. 1995. A mixed-integer linear model for optimal processing and transport of secondary materials. *Resources, Conservation, and Recycling* **15** 65-78.
- Williams, J. F. 1981. A hybrid algorithm for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures. *Management Science* **29**(1) 77-92.