

以系統動態觀點預測使用者對於廢資訊用品 回收意願與行為

Prediction Model for End User Intention and Behavior of Electronic Waste Recycle via System Dynamics Perspective

王貞淑¹ Chen-Shu Wang 周棟祥² Tung-Hsiang Chou 鍾典村³ Tien-Tsun Chung
國立臺北科技大學 國立高雄第一科技大學 中華大學資訊管理系
資訊與運籌管理研究所 資訊管理系所暨企業電子化研究所

¹Graduate Institute of Information and Logistics Management, National Taipei University of Technology, ²Department of Information Management, National Kaohsiung First University of Science and Technology, and ³Department of Information Management, Chung-Hwa University

(Received October 1, 2009; Final Version April 16, 2010)

摘要：資訊產品推陳出新讓使用者的生活日趨便利，但是也縮短了資訊產品生命週期，讓廢資訊產品的管理問題 (e-Waste Management) 逐漸浮現。不當的e-Waste處置將造成難以復原的環境污染，目前大部份的IT產品使用者是將不知道如何處置的e-Waste屯積起來。也正因為e-Waste回收大多是由終端使用者發起，導致e-Waste管理議題充滿了不確定性，探討使用者對e-Waste的回收意願與行為是極待解決的問題。本研究參照台灣地區現行的回收機制與回收補貼政策，以系統動態模擬方法建構出使用者對於e-Waste回收意願的行為預測模擬模型 (proposed simulation model; PSM)，並進行相關動態假說驗證，包括：回收政策效能、新興資訊科技影響以及不同回收管道的探討。PSM再以台灣地區1997年到2007年實際個人電腦回收量進行模型的驗證與測試。由模擬結果顯示本研究所提出之PSM預測模型可達95%的正確性，因此三項動態假說均獲支持。也發現新興資訊技術的推出會縮短資訊產品的生命週期，甚至達一倍以上。最後由模擬結果顯示，不同的回收管道的確存在不同的延遲時間 (電腦購買至送出回收的時間差)，例如：學

本文之通訊作者為王貞淑，e-mail: wangcs@ntut.edu.tw。

本研究受行政院國科會專案計畫 (NSC 97-2410-H-216-014) 補助，特此致謝。

校單位 (5年) 與企業單位 (2~3年) 的時間差將近一倍。本研究所提出的PSM模型能夠全面性的了解台灣電子產業供應鏈，兼顧正向物流與逆向物流的發展。也能夠讓相關行政單位與電子產品製造商在實施e-Waste回收政策前先行模擬可能效果，做為策略施行前的參考依據。

關鍵字：電子廢棄物、回收管理、系統動態模擬、逆物流管理、電子產品回收

Abstract: The emergence of new information technology (IT) indeed improve living convenience of end-user but the IT product life-span is shortened accordingly and then generate a lot of electronic waste (e-Waste). Inappropriate e-Waste disposal can lead unrecoverable environment damage. Most of such e-Waste had been stocked because of end users have no idea to deal with these e-Wastes appropriately. However, e-Waste management is hard to resolved issue because of e-Waste recycle is usually trigger by IT product end user thus fulfill uncertainty. In this research, according to actual recycle mechanism and recycle refund policy in Taiwan, a proposed simulation model, PSM, is constructed by system dynamic approach for end user intention and behavior prediction of e-Waste recycles. Further, three dynamics hypotheses about e-Waste recycle are testified, including: the effect of recycle refund policy, new information technology emergence and diversity recycle channel upon recycle amount of personal computer. Then the actual PC recycle amounts in Taiwan from 1997 to 2007 are adopted for simulation experiment implement. As the experiment results shown, the prediction accuracy of PSM is about 95% and all three dynamics hypotheses are supported. The life-span of used PC is indeed shortened by emerging IT product about 50%. Additionally, the delay time which represents time-span between products sold out and achieved recycle stage is varied from diversity recycle channels even twice, such as the delay time school channel is average 5 years that twice than business channel (only 2.5 years). The proposed simulation model, PSM, reveal a systematical understanding of electronic supply chain and take forward and reverse logistical into consideration simultaneously. Additionally, PSM model enable legislations and electronic producers to verify recycle polices result prior to these policies actual implement and then decrease implement cost and strategies fault.

Keyword: Electronic Waste, Recycle Management, System Dynamics Simulation, Reverse Logistics, Electronic Recycle

1. 緒論

在產品的使用過程中，都一定會經歷逆物流 (reverse logistical) 活動，包括：產品的退貨 (return)、維修 (repair) 乃至最後的產品回收 (recycle)。幾乎所有的產品都必須經歷產品回收，因為當產品到達生命週期盡頭的時候 (end-of-life; EOF)，就會浮現產品回收問題 (Tibben-Lembke, 2002)。而回收後的廢棄品，可以拆解變成原料再利用 (reuse) 或是進行適當的廢棄物處理，包括：掩埋、焚燒或是暫時堆置不予處置。隨著環保議題在全球發酵，Mollenkopf and Closs (2005) 指出即使是以營利為目標的企業，也開始認知逆物流的重要性，並將其視為是企業重要的競爭策略。而眾多的回收管理 (waste management) 議題中，電子廢棄物回收管理 (electronic waste; e-Waste) 又是最值得關注的研究議題！根據美國環境保護機構及國家安全局的統計，在2005年全球有超過2佰噸的e-Waste被施以掩埋處理。到了2008年，全球每年已經必須處置超過4000萬噸的電子廢棄物 (Krikke, 2008)。不當的e-Waste處理會造成自然環境難以復原的遺憾，例如：不當的e-Waste土地掩埋會造成地下水污染，且目前取得適合掩埋的土地資源難度愈來愈高。Kikke (2008) 指出有愈來愈多的公司都開始著重電子廢棄物的回收問題，例如：SONY公司提供顧客無上限的回收服務 (不限定於回收SONY品牌的電子廢棄物)，因此MAC公司也只好被迫跟進。電子廢棄物回收是值得關注的重要研究議題 (Swartz, 2004)。

台灣有許多聞名世界的電子3C產品製造大廠，例如：宏碁 (Acer) 與華碩 (ASUS) 等，也是許多3C電子產品的出口大國，任何相關於電子廢棄物處置的政策都將牽動國內的電子產業的生態 (趙家緯, 民96)。在全球節能減碳環保風氣的影響下，大部份的消費者是具備基本的環保素養與回收廢棄產品的基本知識，台灣地區也在在行政院環保署的積極推動下，電子廢棄物的回收績效普遍有不錯的表現。圖1彙整了台灣地區自1997年至2007年的電子廢棄物回收統計數量。台灣的廢資訊用品回收主要包含四個項目，分別為：個人電腦 (personal computer; PC)、筆記型電腦 (notebook computer; NB)、電腦螢幕 (monitor) 以及印表機 (printer) 四個種類，除了2007年資料公告還不完全外 (僅包含半年的資料)，幾乎所有的廢資訊用品都是呈現回收數量遞增的趨勢。然而，圖2卻說明了台灣地區未來的e-Waste管理問題的嚴重性迫在眉睫，因為台灣的可用流通電腦數量歷年來都是呈指數性成長。換句話說，可以預期將有愈來愈多的廢資訊用品等待被回收，因此必須慎重的看待相關的e-Waste回收管理問題。

就個人電腦來說，因為新的硬體技術不斷推陳出新，PC的產品生命週期已由1992年的平均壽命約4.5年縮短至2005年的平均壽命僅約2年 (Schmidt, 2006)。換句話說，平均每2年使用者即會考慮將手邊的電腦汰換。加上推陳出新的電子設備所衍生的載具匯流 (device convergence) 現象，例如：新一代的手機結合了數位相機與mp3播放功能，因此購買了新手機的消費者就必須處理 (出售、饋贈或是回收) 原有的數位相機與數位mp3播放器，e-Waste問題將日形嚴重。然而，e-Waste回收行為的逆物流活動是很難預測的，主要原因在於這些逆物流活動往往是由終端使用

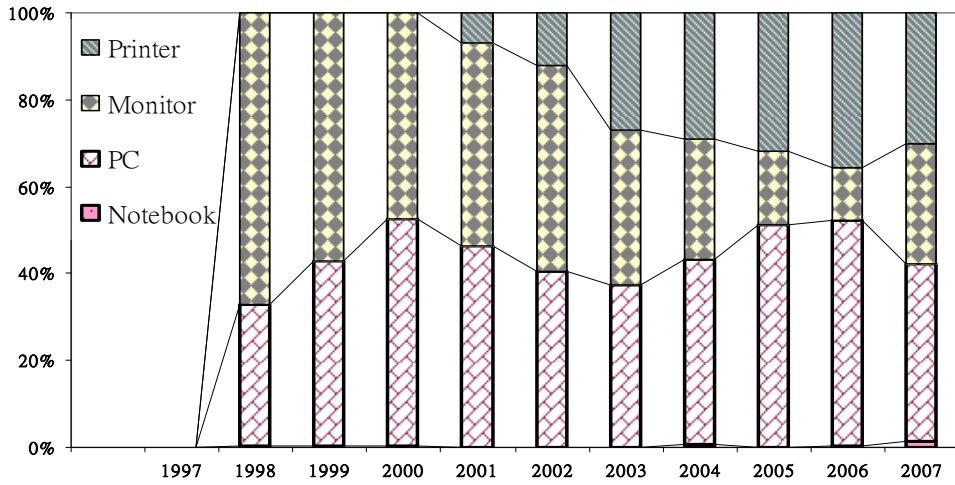


圖 1 台灣地區自 1997 至 2007 四種廢資訊品回收統計圖

資料來源：行政院環保署，本研究整理

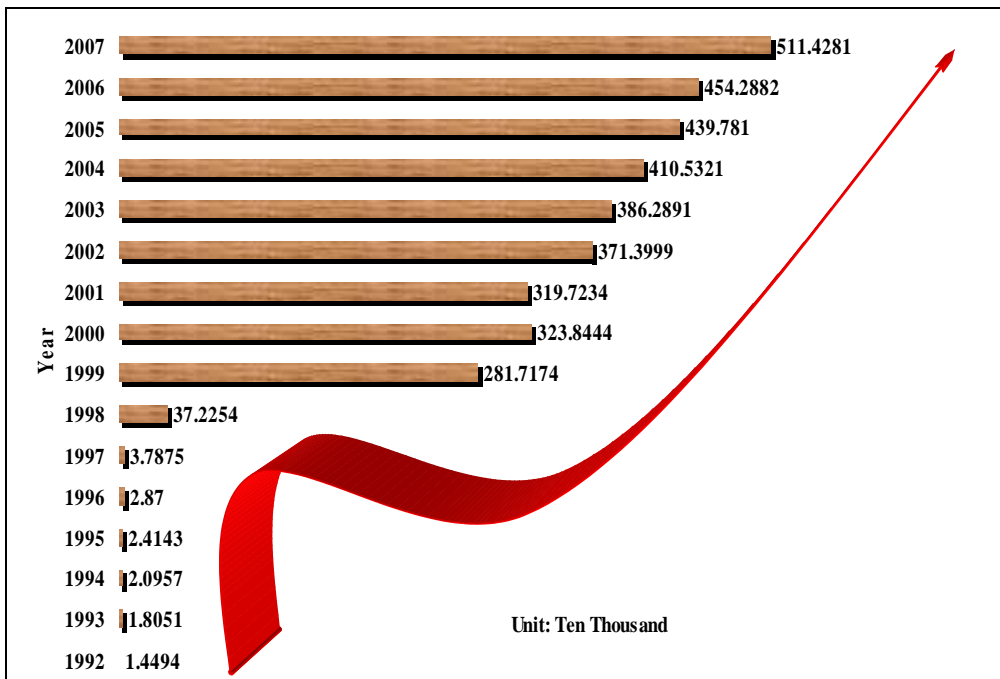


圖 2 台灣地區1992年至2007年電腦流通數

資料來源：行政院主計處，本研究整理

者 (end-user) 所觸發 (trigger) 才會開始進入逆物流程序。舉例而言，回收活動是由使用者決定何時 (when) 將不適用的產品 (不堪用、可用或甚至是全新品) 進行不同的處理，像是出售至二手市場、捐贈、拋棄或是就乾脆置之不理 (Yu and Wang, 2008)。此外，電子廢棄品的狀態及處理方式和管道差異程度很大，是不易處理的重要研究議題。O'Rourke (2004) 指出平均每位電腦使用者都有2~3台不再使用但卻待處置的老舊電腦。因此，以目前台灣地區的廢資訊類回收量來看，所有的回收行為僅止是冰山的一角，未浮現的問題 (閒置於家中待處理的老舊電腦) 才是最嚴重而難以估計的。而這些待處置的老舊設備，一旦拖得愈久將愈難處理，其可再利用 (reuse) 的價值也將隨著處置時間拖長而大大降低 (Swartz, 2004)。若相對於電腦的銷售量，以電腦平均生命週期三年來推估，即可發現在台灣的真正廢電子的回收率其實只達約2%，遠低於目前研究所指出的全球平均回收水準 (20%~30%)。

目前全球已有11個國家立法嚴禁電子廢棄物以掩埋的方式進行最終處理，台灣亦在11個國家之列 (趙家緯，民96; Realf et al., 2004)。另外，像是歐洲聯盟在2003年2月所通過的環保指令，制訂所有廢棄電子電機設備收集、回收、再生的目標。WEEE 要求所有在歐盟國家販賣的上述物品，其製造商必須考慮到產品廢棄時所造成的環境污染問題，嚴格規定製造商必須採用易於回收且環保的設計，並負起回收的責任和費用，才會進一步的核給銷售許可標章准許販售該產品 (Walther and Spengler, 2005)。廢資訊品回收管理議題日趨重要，並且受到不同因素相互影響 (例如：回收政策、回收方便性等) 甚至存在時間滯延效果 (例如：回收政策的宣導執行，必須一段行政執行時間才能看到成效)，廢資訊品回收管理問題充滿了不確定性是一個動態複雜的問題 (Georgiadis and Vlachos, 2004)。因此必須找出影響使用者回收e-Waste意願的主要因子，並以此建構預測模型，以利後續相關回收政策及回收狀況的模擬，提高政策的成功率是相當重要的研究議題。若能將消費者回收意願建立起初步的模式，對於後續政府相關政策在執行前也能先透過初步的模擬結果預測其執行效果。基於結構影響行為的系統態基本假說，能夠找出影響資訊回收的結構因素，並探討各因素間的交互回饋及時間滯延關係。本研究主要研究目的包括：

- (1) 歸納影響使用者回收意願的主要因素並以系統動態模擬法，建構系統動態預測模型，
- (2) 將建構的動態預測模型以實際台灣廢資訊用品回收現況資料驗證，探討影響最終使用者回收 e-Waste 決策之結構，
- (3) 最後，相關模擬結果 (各項模擬參數) 能夠提供給相關行政單位參考做為後續修正行政資源配置調整的依據。

2. 文獻探討

目前相關於e-Waste的研究，可區分為三個方向，包括：e-Waste 模式及系統建立、各類回收技術與供應鏈的探討以及各國或不同企業間的回收政策比較，本節將相關文獻彙整如下。

2.1 e-Waste模式及系統的建立

回收行為的主控權在最終使用者手中，因此使用者能夠決定何時/何地以及是否願意觸發回收行為，整個e-Waste的回收過程充滿了不確定性 (Inderfurth, 2005)。關於e-Waste的管理模型，大部份的學者致力於發展e-Waste的管理模式或是開發e-Waste控制系統。Beamon (1999) 強調設計回收控制系統的重要性和必要性，而Guide *et al.*, (2000) 則由不同的構面出發，包括：環境考量、物流設計、生產計劃與控制及採購等7個構面，探討在傳統制造環境和考量回收制造及控制所應該存在的差異及並提供指導方針。最後，Lambert *et al.*, (2004)更是使用sophisticated packaging工具，將回收控制系統進行最佳化的設計，而 Kahhat *et al.* (2008) 則是結合了RFID技術提出了一個回收系統架構並實用於美國。除了上述的回收控制系統設計外，大部份相關於e-Waste研究仍是以傳統的數量模型求解e-Waste的最佳化問題，像是許多研究都將e-Waste問題以線性規劃 (linear programming) 等方式加以建構後，再以最佳化的方式求解，Walther and Spengler (2005) 即以線性規劃模型來推算德國的逆物流將受到WEEE導入的影響，而Sheu *et al.* (2005) 也以線性規化模型最佳化綠色供應鏈的設計，並可改善整體供應鏈績效達21%。Macauley *et al.* (2003) 也以線性規劃模式，試圖建議最佳化的電腦螢幕最終處置方式，在他們所提出的模式中即考量了對於電腦螢幕不同的處理方式，包括：儲存、回收、最終處理 (焚化、掩埋或直接丟棄) 處理成本及對環境所帶來的衝擊，做最佳化的處理方式推薦。進一步，並加以推估可能帶來的環境衝擊。而Lu *et al.* (2006) 則是以成本效益分析法 (cost-benefit analysis) 去分析筆記型電腦的產品生命週期 (life cycle) 長短對於回收量及環境的衝擊。

在這些研究中，為了能夠順利的建構出數量模式，通常在塑模過程都必須依循一些假設。Macauley *et al.* (2003) 的模式即假設公家單位的電腦不會考慮儲存或贈送的處理方式，此外各種處理方式對環境衝擊的衡量，亦是使用推估的方式產生。也正因為這些模式的假設，使得這樣的數量塑模過程因難，且過多的假設有可能導致在實務應用上更加窒礙難行 (Kang and Schoenuge, 2006)。

2.2 回收技術與供應鏈的關係

零電子廢棄物 (zero e-Waste) 掩埋的理想境界是很難達的，因為電子廢棄物的組成相當複雜，以個人電腦為例，有23%的成份為塑膠，32%為含鐵物質，而18%為非含鐵的物質，最後的12%為電子電路板上較珍貴的金屬材質 (金、銀、鋁等)，這些異質的組合也導致電子廢棄物處理不易 (Krikke, 2008)。因此相關於廢資訊用品文獻有一部份是著重在相關回收技術的探討，像是：對於e-Waste使用新的物質提煉技術以萃取出更多的可用原物料 (Billingham, 2005)，或是綠色電腦 (green PC) 設計，例如：Fujitsu Siemens 和IBM 等電腦公司均積極地投入環保電腦的設計。所謂環保電腦，即盡可能不使用有毒物質並以對環境傷害較小的配件取代。Carter (2004) 即

指出環保的企業採購計劃，例如：使用再回收的原料或是減低包裝等，都是企業的社會責任。而這也正好與Walton *et al.* (1998) 所提出將供應商融入綠色供應鏈的做法不謀而合，Walton等學者實際走訪了五家成功執行的企業後，提供五點概念的指導方針幫助落實綠色供應鏈執行成功，包括：使用符合環保規範的材質進行產品設計、改變供應商的供貨流程以及提出新的供應商評估準則等。Georgiadis and Vlachos (2004) 的研究即指出，綠色形象對於產品的銷售是有正向的影響。

不少研究也探討了將逆向物流導入正向物流活動中的重要性，其中Carter and Ellram (1998) 進行了大量的逆物流文獻整理並提出了後續供逆物流研究的發展框架，而Rogers and Tibben-Lembke (2001) 則是在2001年進行了調查研究，報導的主題包括：企業對於進行逆物流回收的成本與預算、用什麼方式進行逆物流活動較好等議題。直到最近環保意識抬頭，專注於討論電子廢棄物的回收議題才又逐漸浮現。Seuring (2004) 率先就生態經濟的觀點來看待產品生命週期和供應鏈的關係，而Sarkis *et al.* (2004) 也開始探討在供應鏈物流和自然環境的關係，並提出了e-logistic的模型。而Guide and Wassenhove (2001) 及Klausner and Hendrickson (2000) 則是由企業的策略面觀點，探討企業回收產品的用意。

2.3 國際間與企業間的回收政策比較

最後，在過去探討e-Waste議題中的研究主軸是報導或彙整不同國家或不同產業與企業間的回收現況或回收政策比較。其中，最常被列為比較對象的國家分別為已開發國家（如：美國、英國與瑞士等）與開發中或未開發國家（如：中國或是印度）。因為大部份的已開發國家，其廢資訊品的最終處理手斷就是出口到上述的開發中與未開發國家（Prahinski and Kocabasoglu, 2006）。近來這樣比較趨勢更已轉換到e-Waste回收計費與製造商責任的政策探討，舉例而言，在歐洲所有的回收責任需全部由製造商付費，而在日本也是由製造商負起回收的責任，但是日本政府允許將成本在貨品出售時轉嫁給消費者。相較於台灣地區，則是全部由政府負擔e-Waste收集和處理的責任，不過需由製造商付費。因此任何電子產品在出售時，製造商需提撥一筆法定的廢棄物處理費用（當然，該筆費用製造商有可能轉嫁於商品售價，並未明文禁止）。而較為有趣的狀況則是在美國，因為美國各州的電子廢棄物法令不盡相同（Realf *et al.*, 2004），因此是最常被做為比較的標的國家，例如：在加州已立法禁止將電子廢棄物進行土地掩埋，因此e-Waste的處理費則是要由消費者自行負擔，而在新罕布什爾州則只明定不可進行電子廢棄物的土地掩埋，但並未確立電子廢棄物的責任歸屬，而華盛頓州目前則還處於立法階段，尚未明定任何關於電子廢棄物的相關條文（Perry, 2006），截至2007年已有5個州（俄勒岡州、德州、明尼蘇達州、康乃迪克州以及北卡羅來納州）明定了e-Waste的回收責任需由製造商負責（Krikke, 2008）。

已有學者發現提早進行回收政策的企業，其財務報表不一定表現的比較差（Simth, 2005），

而且能給予消費者正向的觀感 (Zhu and Sarkis, 2004)。O'Rourke (2004) 則是比較了不同企業的回收策略，包括：Dell, IBM, HP 三家公司的回收策略，並進一步比較和探討這些回收策略對企業形像的影響。這類的統計研究大都著重在現況探討或是報導污染嚴重性等資訊，大部份這些資訊是以彙整的敘述統計的方式呈現 (Dowlatshahi, 2000)。

綜合而論，可以發現，上述三個方向的相關研究，都僅止著眼在單一的面向，缺乏全面思考甚至進一步地探究使用者對於e-Waste回收的原因與決策因素。換句話說，幾乎沒有研究去追根究底探討使用者的回收行為與回收動機。電子資訊產品回收活動在本質上即充滿了不確定性，並非完全業者所能掌控。雖然產品的製造業者或多或少能做一定程度的控制和預估，像是：推估產品的生命週期進而推算回收量。但是，即便產品已達生命週期的盡頭，也很難保證所有的產品狀況都會一致。此外，即使產品本身已不堪使用，也不代表所有的消費者都會考慮將產品回收 (如前述的筆記型電腦研究)。如何提高e-Waste回收率是一個極待探討的問題，因此建置影響使用者e-Waste回收行為的決策模擬模型也就更加重要。

3. 使用者對於廢資訊用品回收意願與行為模擬模型

考慮慎密的回收政策對於發展健全的綠色供應鏈有絕對正向的助益 (Light, 2002)，然而如同前述文獻探討所討論的狀況，回收行為是屬由消費者的自由意識且受到多個面向因素的影響。Darby and Obara (2005) 和Saphores andNixon (2006) 的研究，歸納出影響使用者回收電子廢棄物的意願的主要因素，主要是相關於基本的人口統計變數，包括：性別 (女性高與男性)、教育程度 (較有程度高者回收意願較高) 以及年紀 (老年人較有意願實際落實回收政策)。另外，也有學者進一步再研究消費者的環保意識及回收的方便性都會影響回收率 (Georgiadis and Vlachos, 2004)。

然而前述的這些研究結果大多以國外的研究為標的物，隨著國情和回收制度的不同，這些研究的參考結果大於實際應用的價值。此外，這些片斷的統計資料都是針對某一時點或某一段時間所進行的靜態統計分析推論，結論的概化能力就會受到限制。加上電子廢棄物回收系統的各個面向間互動頻繁，例如：WEEE將導致製造業大幅度調整其供應鏈結構，是屬於動態複雜問題。因此本研究是以宏觀的角度對於整個回收體系進行全面的系統探討，找出e-Waste回收問題的基本動態結構及所涵蓋的變數 (包括時間變數與滯延效果) 後，再以系統動態模擬法加以塑模後，最後再以電腦執行模擬的結果。系統動態學 (System Dynamic) 特別適合處理動態複雜及非線性震盪和高度不確定的問題特質，也能改善人類直線式思考的缺點提出根本的解決辦法 (韓釗, 民91)。Georgiadis and Vlachos (2004) 已成功的應用這個方法探討綠色形象促使消費者增加其對產品的需求及模擬整體供應鏈的變化，以期能解釋消費者長期的行為變化。

3.1 研究變數

本研究以系統動態學觀點提出一個使用者回收電子廢棄物的意願與行為模擬模型，再以台灣地區的實際個人電腦回收現況為例，進行模擬模型的塑模與驗證。首先本研究將以整體PC的回收數量做為模擬模型 (proposed simulation model; PSM) 的衡量指標，台灣地區相對於個人電腦的回收量如圖1所示。此外，以目前台灣的廢資訊用品回收管道，共包含：政府回收 (government)、社區收集 (society)、機關團體 (organization) 以及學校 (school) 四種回收管道。四種不同回收管道的PC回收量如圖3所示，可以發現在2003年前，PC的主要回收管道是以政府為主，然而到了2003年後，社區與機關團的回收量反而居高。各種不同管道的回收量也將是本研究用以衡量PSM模型的指標之一。

而本研究旨在關心影響使用者回收意願與行為的因子，考量台灣現行的回收獎勵政策仍是以實質現金回饋為主，表1彙整了自1998年至2004年行政院環保署對於各項廢電子用品的補助回收措施。因此，PSM也將驗證這些獎勵措施的成效如何。此外本研究的PSM也將驗證新興資訊科技 (如：新版作業系統) 的出現，對於等待回收的PC以及現行流通PC的影響程度。相關研究結論可提供政府立法與行政單位參酌，也能一窺使用者回收意願與行為模型，對於回收行為可以進行預測甚至做到提前準備，本研究PSM模型之決策變數與指標變數匯整如表2。

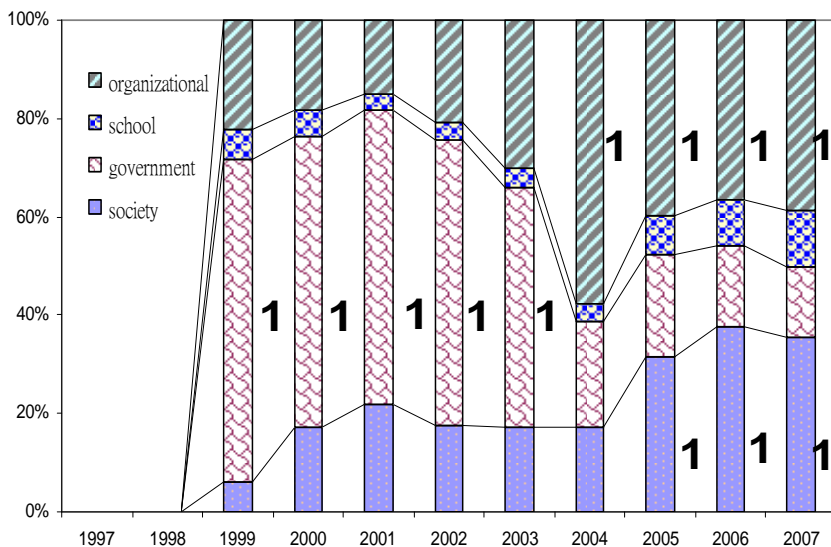


圖3 台灣地區各回收管道的廢資訊用品回收統計量²

資料來源：行政院環保署自1997至2007，本研究整理

² 圖3中的1表示該回收管道為該年度的回收量第1名。

表1 台灣地區 e-Waste 回收獎勵措施彙整表

回收種類	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
個人電腦 (PC)	185.5	352	352	353	286.5	182	182
電腦螢幕 (Monitor)	245	383.5	383.5	383.5	292.5	215	215
筆記型電腦 (Notebook)	181	223	223	260	308.5	303	303
印表機 (Printer)	-	-	-	192	192	192	192

註：表中的金額為每回收一項廢資訊用品所能獲取的補償金額（幣別：新台幣）。

表2 PSM模擬模型之決策變數與衡量指標

決 策 變 數			
變數名稱	說	明	變數 (參照) 來源
回收管道	台灣地區目前提供四個 e-Waste 回收管道，分別為：政府回收、社區收集、機關團體以及學校四種回收管道，考量回收方便性與回收法規進行 PSM 模型塑模。		行政院環保署
回收補助政策	以台灣地區目前的 e-Waste 回收補助政策獎勵 (匯整於表 1) 進行塑模。		1. 行政院環保署, 2. Lu <i>et al.</i> , 2006
新科技出現頻率	考量與個人電腦配合的軟體 (包含：作業系統、各類應用軟體等) 更新將導致現有堪用的 PC 提早步入生命週期盡頭，進行 PSM 模型調校。		1. 行政院主計處 2. Georgiadis and Vlachos, 2004
衡 量 指 標			
變 數	說	明	變數 (參照) 來源
個人電腦回收總量	以台灣地區 1997 年至 2007 年的個人電腦回數統計量驗證本研究 PSM 模型之正確性。藉由回收總量也能夠探討回收獎勵政策的成效。		行政院環保署
各管道回收總量	更進一步的以台灣地區 1997 年至 2007 年四種不同回收管道的個人電腦回數統計量來驗證本研究 PSM 模型與實際 e-Waste 回收狀況的配適度。		行政院環保署

3.2 研究假說

本研究是以系統動態學進行模擬模型的建立與調校，並採用目前最常用的系統動態學模擬軟體之一，Ithink® 公司所開發的Stella系統模擬軟體，進行動態模擬的建立與模擬結果。

回顧個人電腦發展歷史，不難發現PC經常發生了重大的變革事件，其中又以作業系統 (operation system) 的變革相當頻繁。一般而言，使用者對於『電腦』本身的認知 (效能等)，是停留在應用軟體或作業系統上，而非真正電腦硬體本身。而微軟公司 (MS) 所開發的作業系統，目前仍是市佔率最高的個人電腦作業系統，MS作業系統的任何行動對於電腦硬體本身的衝擊絕

對不容小覷。MS公司在2001年作業系統大廠微軟推出了新版的作業系統Windows XP，並在2006年又再推出了Windows Vista的新版作業系統。本研究認為因為更新後的作業系統對於硬體的要求較為嚴苛，因此較舊的個人電腦無法平順的執行新版的作業系統，勢必將提高堪用電腦提早流入二手市場的或是增加廢電腦的回收率。

因此雖然電腦硬體本身並功能沒有問題（還未達生命盡頭），但是為了支援更高階的作業系統（如XP或是Vista）或應用軟體，使用者被迫汰換掉正在使用的電腦。因為這些高階的作業系統或應用軟體本身通常都必須耗用較高的硬體資源，因此需要在較高規格的硬體環境下才能正常運作。不過因為這些資訊設備本身並沒有問題，而且這些資訊用品本身還算是高價產品（不是每天都會丟棄或購買），因此絕大部份這些被汰換下來的電腦不會馬上就被輕易丟棄。最有可能的做法是將這些汰換下來的電腦暫時堆放在角落不做任何處理。O'Rourke (2004) 就提到平均每位電腦使用者都有2~3台不再使用但卻待處置的老舊電腦。或是趁著電腦本身還有殘餘價值時，先行出售至二手市場，進而提高二手市場的拍賣率。本研究認為：個人電腦的互補產品（如作業系統或是其應用程式，甚至是新的設備協定，如USB2.0）的上市與更新速度，將增加使用者考慮二手拍賣及儲存廢電子的機率。

假說1: 資訊產品的互補品上市與更新速度，將提早讓產品進入二手市場或是結束產品生命週期。

此外學者 Kulshreshtha and Sarangi (2001) 也指出，若政府單位或是製造商所提供的回收補助策略是實質的補貼，例如：金錢補貼或是新品折價，那麼使用者的回收意願也會比較高。Lu *et al.* (2006) 的研究發現，以台灣的狀況為例，環保署有強制要求在銷售每台筆記型電腦時必須課徵 100 元的回收處理費用（某些程度來說，或許這 100 元已包含在售價內轉嫁給消費者），而消費者若在最終產品報廢時願意送回廢筆記型電腦至指定回收地點，即可獲得 100 元的獎勵。因此我們提出假說 2。最後，本研究認為在台灣地區，不同的回收管道，因為規定和回收管道的方便性不同，因此會讓 PC 進入回收的時間點不同，提出假說 3。舉例而言，例如：學校的回收管道就必須等資訊用品已期滿 5 年（依據行政院主計處，政府會計－財物標準分類－機械及設備類）才可進行報廢回收的程序，而企業組織是以營利為目，因此只要設備不適用即有可能隨時進行淘汰。

假說2: 實質的回收補助，能夠使用者對於e-Waste提高回收意願。

假說3: 不同的回收管道，PC進入回收程序考量的時間點不同。

本研究將透過PSM模型將3個假說加以驗證後，並透過動態模擬實驗揭露相關的參數，包括：e-Waste生命週期、新興科技對於PC影響程度、PC回收率等。

3.3 研究模型與研究工具

本研究是以系統動態模擬法進行PSM的塑模與模擬，圖4所呈現的即為e-Waste回收決策模型

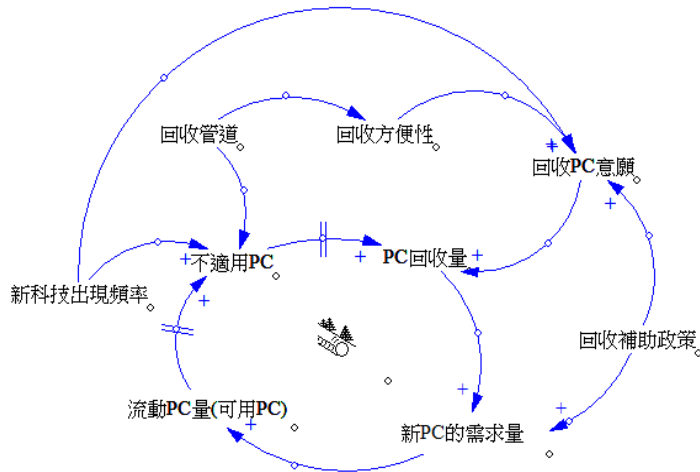


圖4 消費者回收廢資訊產品意願與行為之因果循環圖

的因果循環圖 (causal loop diagram; CLD)。以目前的台灣的回收現況而言，大部份的回收量主要還是來自於目前在市面上的流通電腦（台灣目前並未開放進口國外的廢電子回收物）。然而誠如文獻所述，大部份的使用者還是會考慮將使用過的廢資訊產品（即圖4中的不適用PC）先儲存起來，經過一段時間後再去煩惱回收或是處理的問題。換句話說，使用者會在正常的產品生命週期後，自動在該廢棄產品上再延續一段時間後，該產品還是有機會被回收。本研究為了解使用者對於資訊產品的回收的意願與行為，也隨機訪談了不同階層的資訊產品使用者（包括：學生族群、公務人員、一般上班族等），發現大部份的使用者大多表示不會立刻考慮執行廢資訊用品回收的主要原因在於，不知道怎麼樣恰當的處理廢資訊用品。而且大部份的使用者也都認為廢資訊用品與一般廢棄品不同，因此不可隨便丟棄（有極少數的使用者能正確的回答目前台灣地區所認定的四項法定廢資訊用品）。而且有趣的是，大部份的使用者都認為不適用（但還堪用）的個人電腦仍存在一定的殘餘價值，並且確信這些殘餘價值一定大於環保署所提供的回收獎勵金。而這也與學者的發現一致，Lu *et al.* (2006) 以台灣的狀況為例，行政院環保署強制要求在銷售每台筆記型電腦時必須課徵100元的回收處理費用，若是消費者在最終產品報廢時願意送回廢筆記型電腦至指定回收地點，即可獲得100元的獎勵。然而這樣的鼓勵其實是很有限的，因為平均每台舊型的筆記型電腦在二手市場上約值台幣4,000至5,000元不等 (Mayers *et al.*, 2002)。

此外，針對本研究想要驗證的回收管道、新出現的IT科技與回收補助政策等決策變數，在與資訊用品使用者訪談後，均被加入圖4中的CLD圖，這些決策變數將影響可用的流通電腦（或堪用）轉變為不適用的電腦的速率（流率）進而再影響對新電腦的需求（其中存在時間滯延效果）。當然，不同的回收管道有其對應的回收政策（獎勵或補助）也會影響回收的方便性，進而

影響使用者的回收意願。面對e-Waste回收的動態複雜問題，是相當適合以系統動態模擬方法進行塑模與驗證。

進一步本研究將圖4的CLD轉換為能以STELLA 軟體執行的存量流量圖 (stock and flow diagram; SFD) 如圖5所示。並將本研究關心的PSM衡量指標以存量的方式置入SFD中，分別為四種不同管道的回收量,包括:學校單位回收量 (school recycled amount)、社區收集回收量 (society recycled amount)、政府單位回收量 (government recycled amount) 和組織回收量 (organization recycled amount) 以及總回收量 (total recycled amount)。

其中，階段一 (Stage I) 係指資訊產品由消費者購買後，經歷一段特定的使用時間後 (包括：產品生命週期、消費者對e-Waste儲存待處理的時間等)，即進入階段二的e-Waste的回收階段程序，共探討四種不同的回收管道，並希望藉由模擬實驗揭露不同回收管道的e-Waste回收參數。最後，階段三 (Stage III) 係指回收e-Waste至特定區域後 (如：e-Waste回收管理集散地)，回收業者對於回收後的廢資訊品所進行的最後處置 (包括：掩埋或出口至第三國)。階段三目前並未列入本研究的研究範疇。本研究關心的新興科技與回收補助策略的影響繪於圖中的Part A與Part B，說明如下：

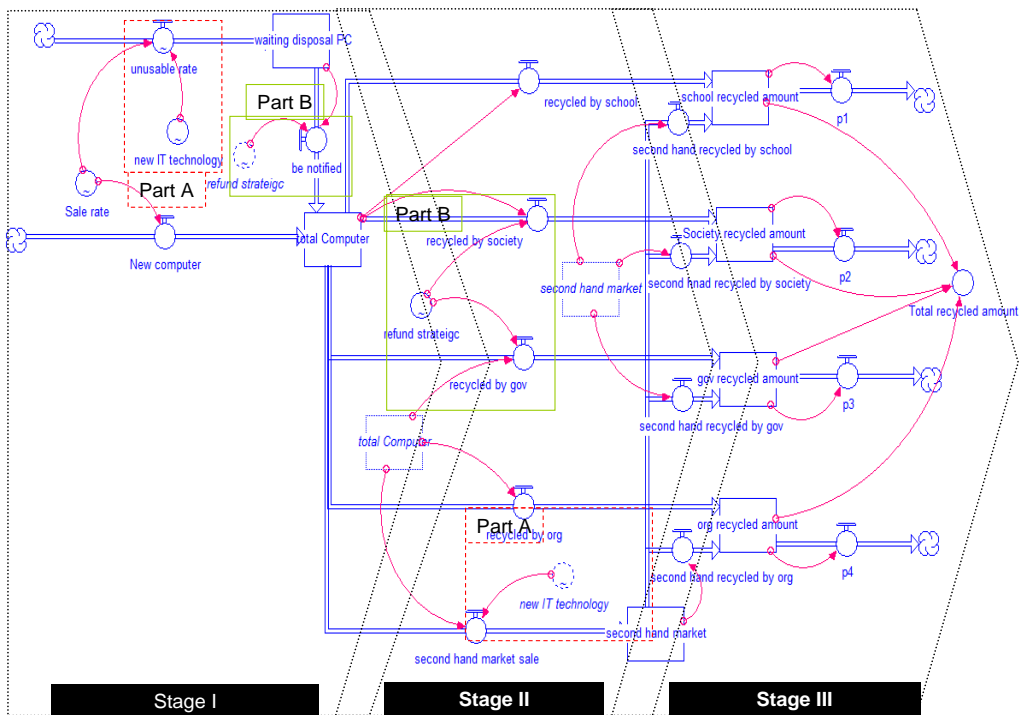


圖5 消費者回收廢資訊產品意願與行為之系統動態模擬模型

Part A: 討論新興資訊科技產品的出現與更新 (例如：更高階的作業系統、或是其它設備的更新)，迫使個人電腦提前縮短原來的生命週期。因此本研究設定新作業系統的出現將分別使現在的電腦汰換率和二手拍賣的機率提高。因為微軟作業系統目前的市佔率最高，本研究參酌微軟作業系統的更新時程進行新技術函數的設計。新技術的浮現影響堪用電腦進入待處理與二手市場的流率，類似電器開關 (on/off) 效果，如圖6所示，新興科技對於e-Waste的回收影響的年度分別為1998 (Win 3.1至win98)、2000 (win 2000出現) 與2003年 (Win XP出現)。本研究希望能由模擬結果得知新科技出現的影響程度，讓相關單位對於下一波新技術出現後，相關廢資訊用品回收狀況進行預測與準備。

Part B: 在SFD中探討實質的政策補助對於回收意願的影響。如圖7所示，本研究忠實的模擬台灣地區的實質補助情況，也就是政府單位實際在2003 年開始提供實質的補助措施。

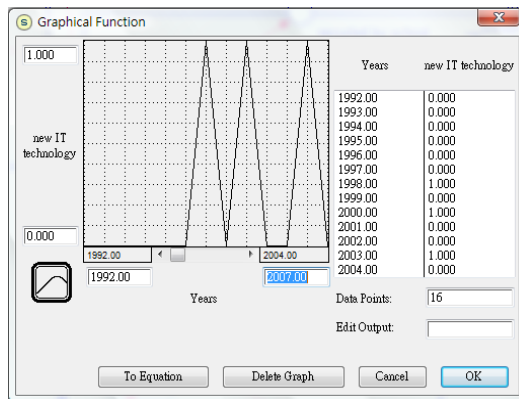


圖6 新興資訊技術產品影響函數

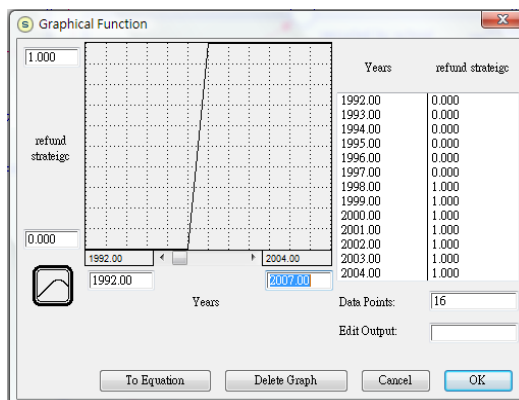


圖7 實質回收補貼政策效果

相關於PSM模型的存量流量與其他輔助變數的動態方程式已列於附錄。並以台灣地區的回收現況做為模擬實驗的測試。

4. 模擬結果

本研究是以系統動態軟體 Ithink® (1994) 軟體進行模擬模型的塑模與模擬實驗，並以二項衡量指標驗證本研究所提出的三項動態假說。

在圖 8 中藍線(1)所示的為台灣環保署 (EPA) 所統計的實際廢電腦回收數量，而紅線(2)為本研究所提出的模擬模型 PSM 的模擬結果，模擬結果顯示在回收總量這個指標，PSM 平均可達 95%³的模擬正確性。相關的模擬參數設定列於表 3，可以發現新興技術的出現的確會縮短個人電腦的生命週期約達一倍 (2 年變成 10 個月)。換句話，還堪用的電腦將提早進入回收程序，因此假說 1 得到支持。此外，本研究也發現實質的回收補助政策實施，將讓不適用的 PC 提早進入回收程序的機率提高近 1 倍 (0.3 變為 0.5)，因此假說 2 也是得到支持的。

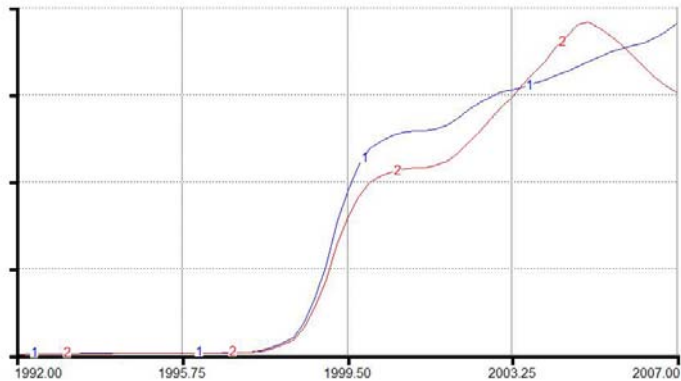


圖 8 PSM 模擬模型與實際 PC 總回收量比較⁴

表 3 PSM 模型模擬參數設定

流率設定	新興資訊技術出現		回收補助策略	
	否	是	否	是
流動 PC→不適用 PC	2	0.8	-	-
不適用 PC→回收 P C	-	-	0.3	0.5

³ 係為 PSM 模擬之回收量與實際廢電腦回收量之比值，95% 為模擬實驗由 1997 年至 2007 年所有比值之平均值。

⁴ 1 號實線為實際廢 PC 回收數量，2 號實線為 PSM 模擬實驗所產出之回收量趨勢。

在 PSM 的第 2 階段 (Stage II) 中，本研究想要驗證第二個衡量指標，也就是不同回收管道所收集的 PC 回收量。相關的模擬結果如圖 9 所示，模擬結果包括四種不同回收管道的回收量趨勢圖，而圖 9 的模擬趨勢圖與實際回收現況的趨勢 (圖 4) 一致。換句話說，在四種不同的回收管道中，模擬結果亦呈現在 2003 年前，四種管道的回收量的排名由高至低分別為：政府單位>社區收集>組織回收>學校管道。然而在 2003 年後，不同管道的 PC 回收量排名則被不同的順序取代：組織回收量等於社區收集回收量，並依序大於政府單位回收與學校回收管道，而這也與實際不同回收管道的現況相符一致。

相關模擬參數整理如表 4，可以發現不同的回收管道的確影響廢資訊品進入回收程序的延遲時間 (delay time)。此外，更為有趣的是就社區回收和政府單位回收管道而言，本研究發現以 1996 年為轉折點，在 1996 年前電腦的回收年限為每 3 年回收一台，然而到了 1996 年後，平均每 4 年才會回收一台電腦，這也證明了終端使用者的確有屯積不堪用電腦的趨勢 (delay time 變長)。此外，在回收延遲時間來講，學校組織需 5 年才能汰換廢電腦，而商業組織平均每 2.5 年即進行電腦的汰換，相差近一倍。根據 PSM 的模擬結果，一般家庭的平均電腦使用年限約為 3~4 年。因此假說 3 也得到支持。PSM 模型有效的揭露了 PC 在不同回收管道的生命週期 (表 4)，並且驗證了新資訊科技出現以及實質補貼政策對於回收率的影響 (表 3)，相關模擬結果都能做為回收政策製定的參考依據。PSM 最後的 SFD 實驗公式參酌了表 3 與表 4 的參數，已將相關方程式置於附錄。

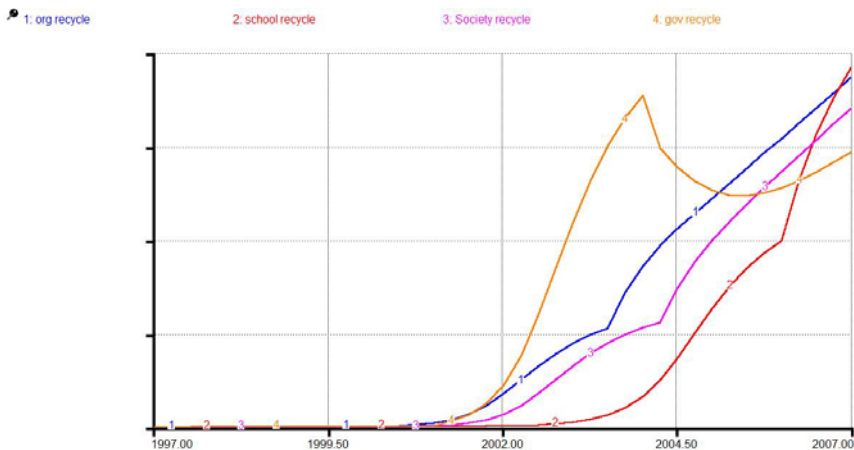


圖 9 各回收管道回收量模擬結果：PSM 模擬產生⁵

⁵ 1 號實線為 PSM 模型所產生之組織管道回收量，2 號實線為 PSM 模型所產生之學校管道回收數，3 號實線為 PSM 模型所產生之社區管道回收量，4 號實線為 PSM 模型所產生之政府管道回收數

表 4 PSM 對於不同回收管道參數設定

回收管道 回收年度	學校單位 (School)	社區回收 (Society Collect)	政府單位 (Government)	組織回收 (Organization)
1996 前	5 年		3 年	2.5 年
1996 後			4 年	

5. 結論與未來研究方向





廢電子資訊產品管理 (electronic waste management; e-Waste management) 是相當重要且值得關注的研究議題。因為e-Waste回收活動，大多由使用者所發起，且受到不同層面的因素相互影響，因此充滿著不確性，是一個典型的動態複雜問題。本研究旨在建立影響使用者回收意願與行為的模擬模型，相對於個人電腦回收參數的模擬結果能做為政策執行的參酌依據。本研究以台灣地區的廢電腦回收現況為例，進行模擬模型的塑模與驗證。由實驗結果顯示，本研究的動態模擬模型可達95%以上的模擬正確率，此外本研究所提出的三項動態假說均獲驗證，包括：新興資訊產品的出現將讓堪用的資訊用品提早進入產品生命週期（甚至縮短達一倍以上）、實質的回收補貼政策有助於讓不適用的電腦及早進入回收程序（可提早近一倍的機率）以及四種不同的回收管道有不同的回收延滯時間（係指由購買到進入回收程序時間），並成功的揭露了相關參數。

本研究所提出的使用者對於廢資訊用品的回收意願與行為模擬模型，有助於提供全面的 PC 回收程序系統觀點。此外，本研究的模擬結果也揭露了許多以往無法清楚得知的回收參數，例如：回收時間點 (delay time) 與不同回收管道的回收率等。對於行政單位而言，本模型能夠協助相關政策在執行前即先預測可能的效果，進而分析這樣的模擬效果是否與行政政策期望效果一致，降低預期錯誤的執行成本。由模擬結果顯示，本研究也建議行政單位可以考慮提高實質補貼政策，對於提高回收率有相當的影響。對於資訊業者，本模型也能夠一窺使用者如何看待資訊產品生命週期，進而了解企業若提供相關回收政策或是實質補貼的效果。本研究建議，資訊業者也可透過本模型模擬提供到府回收廢資訊用品並提供新品折價策略的影響。對使用者而言，這樣的回收政策既處理了回收舊品的不便利又兼顧新品折價的優惠，或是也可以考慮競爭者（或是企業本身）推出新興的資訊產品，對於整個相關產業的衝擊。長期而言，本模型的模擬結果也能讓政府單位進行相關行政資源的調度，以達最佳化配置，例如：回收站的最佳化配置。

本研究未來將致力於提升 PSM 模擬模型的正確率，並完成模型中的第 3 階段，後續回收處理階段議題。再參酌國外文獻加以比較台灣地區與其他國家關於廢資訊用品回收的影響模型，做為台灣地區的回收政策的修改依據，也能提昇台灣地區的電子產品整體供應鏈效益，兼顧正向物流與逆向物流的健全發展。

附錄

- $gov_recycled_amount(t) = gov_recycled_amount(t - dt) + (recycled_by_gov + second_hand_recycled_by_gov - p3) * dt$
 INIT $gov_recycled_amount = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $recycled_by_gov = delay(if\ refund_strategie=1\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.1\ else\ if\ refund_strategie=1\ and\ time > 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ if\ refund_strategie=0\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.06\ else\ total_Computer*0.03,if\ time < 1996\ then\ 3\ else\ 5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_gov = DELAY1(second_hand_market*0.2,1.5,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $p3 = gov_recycled_amount$
- $org_recycled_amount(t) = org_recycled_amount(t - dt) + (second_hand_recycled_by_org + recycled_by_org - p4) * dt$
 INIT $org_recycled_amount = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $second_hand_recycled_by_org = DELAY1(second_hand_market*0.05,1.5,0)$
 ↻ $recycled_by_org = delay(if\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ total_Computer*0.1,3,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $p4 = org_recycled_amount$
- $school_recycled_amount(t) = school_recycled_amount(t - dt) + (recycled_by_school + second_hand_recycled_by_school - p1) * dt$
 INIT $school_recycled_amount = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $recycled_by_school = delay(if\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.01\ else\ if\ time < 2003\ then\ total_Computer*0.03\ else\ total_Computer*0.05,5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_school = delay1(second_hand_market*0.1,1.5,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $p1 = school_recycled_amount$
- $second_hand_market(t) = second_hand_market(t - dt) + (second_hand_market_sale - second_hand_recycled_by_school - second_hand_recycled_by_society - second_hand_recycled_by_gov - second_hand_recycled_by_org) * dt$
 INIT $second_hand_market = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $second_hand_market_sale = DELAY(if\ new_IT_technology=1\ then\ total_Computer*0.08\ else\ total_Computer*0.05,if\ time < 1996\ then\ 1\ else\ 2,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $second_hand_recycled_by_school = delay1(second_hand_market*0.1,1.5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_society = DELAY1(second_hand_market*0.1,1.5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_gov = DELAY1(second_hand_market*0.2,1.5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_org = DELAY1(second_hand_market*0.05,1.5,0)$
- $Society_recycled_amount(t) = Society_recycled_amount(t - dt) + (recycled_by_society + second_hand_recycled_by_society - p2) * dt$
 INIT $Society_recycled_amount = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $recycled_by_society = delay(if\ refund_strategie=1\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ if\ refund_strategie=1\ and\ time > 2001\ then\ total_Computer*0.1\ else\ if\ refund_strategie=0\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.03\ else\ total_Computer*0.06,if\ time < 1996\ then\ 3\ else\ 5,0)$
 ↻ $second_hand_recycled_by_society = DELAY1(second_hand_market*0.1,1.5,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $p2 = Society_recycled_amount$

- $total_Computer(t) = total_Computer(t - dt) + (New_computer + be_notified - second_hand_market_sale - recycled_by_society - recycled_by_school - recycled_by_gov - recycled_by_org) * dt$
 INIT $total_Computer = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $New_computer = Sale_rate$
 ↻ $be_notified = DELAY(if\ refund_strategic=1\ then\ waiting_disposal_PC*0.65\ else\ waiting_disposal_PC*0.4,4,0)$
 OUTFLOWS:
 ↻ $second_hand_market_sale = DELAY(if\ new_IT_technology=1\ then\ total_Computer*0.08\ else\ total_Computer*0.05,if\ time<1996\ then\ 1\ else\ 2,0)$
 ↻ $recycled_by_society = delay(if\ refund_strategic=1\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ if\ refund_strategic=1\ and\ time > 2001\ then\ total_Computer*0.1\ else\ if\ refund_strategic=0\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.03\ else\ total_Computer*0.06,if\ time<1996\ then\ 3\ else\ 5,0)$
 ↻ $recycled_by_school = delay(if\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.01\ else\ if\ time < 2003\ then\ total_Computer*0.03\ else\ total_Computer*0.05,5,0)$
 ↻ $recycled_by_gov = delay(if\ refund_strategic=1\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.1\ else\ if\ refund_strategic=1\ and\ time > 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ if\ refund_strategic=0\ and\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.06\ else\ total_Computer*0.03,if\ time<1996\ then\ 3\ else\ 5,0)$
 ↻ $recycled_by_org = delay(\ if\ time < 2001\ then\ total_Computer*0.05\ else\ total_Computer*0.1,3,0)$
 $waiting_disposal_PC(t) = waiting_disposal_PC(t - dt) + (unusable_rate - be_notified) * dt$
 INIT $waiting_disposal_PC = 0$
 INFLOWS:
 ↻ $unusable_rate = GRAPH(if\ new_IT_technology=1\ then\ Sale_rate*1.5\ else\ Sale_rate*0.8)$
 
 (0.00, 0.00), (10.0, 0.00), (20.0, 0.00), (30.0, 0.00), (40.0, 0.00), (50.0, 0.00), (60.0, 0.00), (70.0, 0.00), (80.0, 0.00), (90.0, 0.00), (100, 0.00)
 OUTFLOWS:
 ↻ $be_notified = DELAY(if\ refund_strategic=1\ then\ waiting_disposal_PC*0.65\ else\ waiting_disposal_PC*0.4,4,0)$
 $Total_recycled_amount = Society_recycled_amount + school_recycled_amount + org_recycled_amount + gov_recycled_amount$
 $new_IT_technology = GRAPH(TIME)$
 
 (1992, 0.00), (1993, 0.00), (1994, 0.00), (1995, 0.00), (1996, 0.00), (1997, 0.00), (1998, 1.00), (1999, 0.00), (2000, 1.00), (2001, 0.00), (2002, 0.00), (2003, 1.00), (2004, 0.00), (2005, 0.00), (2006, 1.00), (2007, 0.00)
 $refund_strategic = GRAPH(TIME)$
 
 (1992, 0.00), (1993, 0.00), (1994, 0.00), (1995, 0.00), (1996, 0.00), (1997, 0.00), (1998, 1.00), (1999, 1.00), (2000, 1.00), (2001, 1.00), (2002, 1.00), (2003, 1.00), (2004, 1.00), (2005, 1.00), (2006, 1.00), (2007, 1.00)
 $Sale_rate = GRAPH(TIME)$
 
 (1992, 14494), (1993, 3557), (1994, 2906), (1995, 3186), (1996, 4557), (1997, 9175), (1998, 334379), (1999, 2.4e+006), (2000, 421270), (2001, -41210), (2002, 516765), (2003, 148892), (2004, 242430), (2005, 292489), (2006, 145072), (2007, 571339), (2008, 667337), (2009, 630045), (2010, 741921)

參考文獻

行政院環保署，Access on 2010/1/14, <http://recycle.epa.gov.tw/epa/index.asp> .

行政院主計處，「電腦應用概況報告」，Access on 2010/1/14, <http://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=25562&CtNode=5210>.

趙家緯，「2007 前瞻之科技垃圾：電子廢棄物的許諾與失落」，Access on 2010/1/14, <http://e-info.org.tw/node/18254> .

Billingshurst, M. B., “E-Waste: A Comparative Analysis of Current and Contemplated Management Efforts by the European Union and United States,” *Journal of Environmental Law & Policy*, Vol. 16, No. 2, 2005, pp. 399-427.

Carter, C., “Purchasing and Social Responsibility: A Replication and Extension,” *Journal of Supply*

- Chain Management*, Vol. 40, No. 4, 2004, pp.4-16.
- Carter, C. R. and Ellram, L. M., "Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation," *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 1, 1998, pp. 85-101.
- Darby, L. and Obara, L., "Household Recycling Behavior and Attitudes towards the Disposal of Small Electrical and Electronic Equipment," *Resources Conservation & Recycling*, Vol. 44, No. 1, 2005, pp.17-35.
- Dowlatshahi, S., "Developing a Theory of Reverse Logistics," *Interfaces*, Vol. 30, No. 3, 2000, pp.143-155.
- Georgiadis, P. and Vlachos, D., "The Effect of Environmental parameters on product Recovery," *European Journal of Operational Research*, Vol. 157, No.2, 2004, pp. 449-464.
- Guide, V. D. R. Jr., Jayaraman, V., Srivastava, R., and Benton, W. C., "Supply-Chain Management for Recoverable Manufacturing Systems," *Interfaces*, Vol. 30, No. 3, 2000, pp. 125-142.
- Guide, V. D. R. Jr. and Wassenhove, L. N. V., "Managing Product Returns for Remanufacturing," *Production and Operations Management*, Vol. 10, No. 2, 2001, pp. 142-155.
- Inderfurth, K., "Impact of Uncertainties on Recovery Behavior in a Remanufacturing Environment A Numerical Analysis," *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, Vol. 35, No. 5, 2005, pp. 318-336.
- Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., and Williams, E., "Proposal for an E-Waste Management System for the United States," In *Proceeding of 2008 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment (ISEE 2008)*, pp. 1-6, 2008.
- Kang, H. Y. and Schoenung, J. M., "Estimation of Future Outflows and Infrastructure Needed to Recycle Personal Computer Systems in California," *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 137, No.2, 2006, pp. 1165-1174.
- Klausner, M. and Hendrickson, C., "Reverse-Logistics Strategy for Product Take-Back," *Interface*, Vol. 30, No. 3, 2000, pp. 156-165.
- Krikke, J., "Recycling E-Waste: the Sky is the Limit," *IT Professional*, Vol. 10, No. 1, 2008, pp. 50-55.
- Kulshreshtha, P. and Sarangi, S., "No Return, No Refund: An Analysis of Deposit-Refund Systems," *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 46, No. 4, 2001, pp. 379-394.
- Lambert, A. J. D., Boelaarts, H. M., and Spinter, M. A. M., "Optimal Recycling System Design: with an Application to Sophisticated Packaging Tools," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 28, No. 3, 2004, pp. 273-299.
- Light, E., "A Green Supply Chain," *NZ Business*, Vol. 16, No. 3, 2002, pp. 46.

- Lu, L. T., Wernick, K. L., Hsiao, T. Y., Yu, Y. H., Yang, Y. M. and Ma, H. W., "Balancing the Life Cycle Impacts of Notebook Computers: Taiwan's Experience," *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 48, No. 1, 2006, pp. 13-25.
- Macauley, M., Palmer, K., and Shin, J. S., "Dealing with Electronic Waste : Modeling the Costs and Environmental Benefits of Computer Monitor Disposal," *Journal of Environmental Management*, Vol. 68, No. 1, 2003, pp. 13-22.
- Mayers, K., France, C., Cleverly, A., Kabouris, E., and Planas, S., "The Use and Disposal of IT Products within Commercial Markets," *Journal of Business & Industrial Marketing*, Vol. 17, No. 5, 2002, pp. 357-378.
- Mollenkopf, D. A. and Closs, D. J., "The Hidden Value in Reverse Logistics," *Supply Chain Management Review*, Vol. 9, No. 5, 2005, pp. 34-43.
- O'Rourke, M., "Killer Computer : The Growing Problem of E-Waste," *Risk Management Magazine*, Vol. 51, No. 10, 2004, pp.12-8.
- Perry, T. S., "Who Pays for E-Waste? Washington State Sticks Manufactures with Recycling Tab," Accessed 28 March 2012, <http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/who-pays-for-ewaste>.
- Prahinski, C. and Kocabasoglu, C., "Empirical Research Opportunities in Reverse Supply Chains," *Omega*, Vol. 34, No. 6, 2006, pp. 519-531.
- Realf, M. J., Raymond, M., and Ammons, J. C., "E-Waste: An Opportunity," *Materialstoday*, Vol. 7, No. 1, 2004, pp. 40-45.
- Rogers, D. S. and Tibben-Lembke, R., "An Examination of Reverse Logistics Practices," *Journal of Business Logistics*, Vol. 22, No. 2, 2001, pp. 129-147.
- Saphores, J.-D. M., Nixon, H., Ogunseit, O. A., and Shapiro, A. A., "Household Willingness to Recycle Electronic Waste: An Application to California," *Environment and Behavior*, Vol. 38, No. 2, 2006, pp. 183-208.
- Sarkis, J., Meade, L., and Talluri, S., "E-Logistics and the Natural Environment," *Supply Chain Management*, Vol. 9, No. 4, 2004, pp. 303-312.
- Schmidt, C. W., "Unfair Trade: E-Waste in Africa," *Environmental Health Perspectives*, Vol. 114, No. 4, 2006, pp. 232-235.
- Seuring, S., "Industrial Ecology, Life Cycles, Supply Chains: Differences and Interrelations," *Business Strategy and the Environment*, Vol. 15, No. 5, 2004, pp. 306-319.
- Sheu, J. B., Chou, Y. H., and Hu, C. C., "An Integrated Logistics Operational Model for Green-Supply Chain Management," *Transportation Research Part E*, Vol. 41, No. 4, 2005, pp. 287-313.

- Smith, J., "Being Green Can Make You See Red," *Printed Circuit Design & Manufacture*, Vol. 22, No. 2, 2005, pp. 26-29.
- Swartz, N., "How to Recycle or Retire Your Old PC," *Information Management Journal*, Vol. 38, No. 2, 2004, p. 7.
- Tibben-Lembke, R. S., "Life after Death: Reverse Logistics and the Product Life Cycle," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 23, No. 3/4, 2002, pp. 223-244.
- Walton, S. V., Handfield, R. B., and Melnyk, S. A., "The Green Supply Chain: Integrating Suppliers into Environmental Management Processes," *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol. 34, No. 2, 1998, pp. 2-11.
- Walther, G. and Spengler, T., "Impact of WEEE-Directive on Reverse Logistics in Germany," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 35, No. 5, 2005, pp. 337-361.
- Yu, C. C. and Wang, C. S., "A Hybrid Mining Approach for Optimizing Returns Policies in e-Retailing," *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, No. 4, 2008, pp. 1575-1582.
- Zhu, O. and Sarkis, J., "Relationships between Operational Practices and Performance among Early Adopters of Green Supply Chain Management Practices in Chinese Manufacturing Enterprises," *Journal of Operations Management*, Vol. 22, No. 3, 2004, pp. 265-289.