



電子資訊廢棄物回收需求分析與預測－以台灣地區為例

溫裕弘*

淡江大學運輸管理學系助理教授

郭育孟

淡江大學運輸管理學系碩士、交通部民航局金門航空站辦事員

摘要

因應相關環保法規(如歐盟 WEEE)、綠色供應鏈風潮與企業永續發展，電子資訊廢棄物(electronic waste, e-waste)之回收需求分析與預測議題漸成爲環保與廢棄物管理重要之研究方向。本研究進行電子資訊廢棄物回收需求分析與回收量預測；在回收需求分析方面，針對電子資訊廢棄物回收需求進行調查與分析，以了解電子資訊物品從生命終期廢棄物產生至實際形成廢棄物回收過程之關鍵影響因素。在回收量預測方面，本研究先藉由使用年限機率與回收機率之推估，透過電子資訊產品出貨量歷史資料推測未來電子資訊廢棄物之潛在回收量，再進一步整合應用類神經網路模式，藉以降低預測不確定性與隨機性因素提升預測精度，而建構電子資訊廢棄物回收量預測模式。最後，針對台灣地區電子資訊廢棄物之稽核認證回收量統計資料進行預測分析，預測結果顯示本研究所建構之電子資訊廢棄物回收量預測模式之預測能力均較機率推估型預測模式之使用年限法、及時間數列型預測模式之 ARIMA 與 GM(1, 1)模式、以及整合型模式之二元迴歸及 GM(1, 2)模式爲佳，驗證本研究模式可行且具有較佳之預測與解釋能力。本研究成果不僅在學術上可作爲廢棄物回收需求分析與回收量預測模式相關研究之參考，所發展之模式亦可提供實務上進行逆物流回收預測模組開發之模式基礎。

關鍵詞：電子資訊廢棄物、逆物流回收、回收需求分析、回收量預測

* 通訊作者：溫裕弘

通訊地址：新北市淡水區英專路 151 號淡江大學運輸管理學系

聯絡電話：02-26215656 ext 3387

傳真：02-26221135

E-mail：yhwen@mail.tku.edu.tw





壹、緒論

隨著全球環境議題之高度關切，國際間相繼制定環保相關法規與指令，例如：歐盟「廢電子電機設備指令 (Directive on the Waste Electronics and Electrical Equipment, WEEE)」，規定電子資訊製造商必須負起產品回收責任，且依不同產品類別規定回收率 (50%~75%)。就製造商而言，為因應相關環保法規與落實綠色供應鏈永續觀念，電子資訊廢棄物之逆物流回收議題逐漸受到關注，且逆物流回收已成為完整供應鏈 (close-loop supply chain) 競爭致勝的關鍵課題。但電子資訊廢棄物係為生命終期 (end-of-life, EOL) 電子資訊產品，回收逆物流則為由終端消費者手中返回至處置的一種物流過程，其過程非常複雜且專業，包括回收、拆解/處理、再生和最終處置，而電子資訊廢棄物之回收更具有高度不確定、隨機性、需求點分散、需求量變動大等特性，亦即回收逆物流產生的時間、地點、數量、質量均是難以預期的。因此，若要有效掌控電子資訊廢棄物回收之特性，則需針對電子資訊廢棄物回收需求進行調查與分析，包含：發生原因、影響因素與服務管道。由電子資訊廢棄物回收逆物流複雜且專業之特性，許多電子製造商沒有能力或不願意進入回收逆物流這塊市場 (Krumwiede and Sheu, 2002)，大部份的企業均把逆物流回收活動以委外方式委託專業的第三方逆物流回收處理業者來處理 (Cottrill, 2000)。電子資訊廢棄物回收之需求分析與預測即為重要之研究課題，為電子資訊廢棄物回收政策與逆物流回收相關規劃之基礎。在政府環保政策上，可作為廢棄物回收管理政策制定、環保稽核、回收量推估之依據與政策推行策略之參考。而對於第三方逆物流回收規劃上，逆物流回收之預測則可提供相關的運輸規劃 (如車隊大小、車輛容量、路網等) 及決定倉儲與轉運站容量等之基礎 (Hanafi et al., 2007)。

然而，目前國內外探討廢棄物回收需求分析與回收量預測之文獻尚少，包括：Toktay (2003), Marx-Gomez et al. (2002), Masui (2005), Kang and Schoenung (2006), Hanafi et al. (2007), Jalili Ghazi Zade and Noori (2008), Kumar et al. (2011), 張淑卿 (民 91), 溫麗琪等人 (民 94)。Marx-Gomez (2002) 認為產品的回收規劃是以回收量預測為基礎，Masui (2005) 認為欲進行逆物流回收廠相關生產規劃時，首先應對產品生命週期之量進行預測。Jalili Ghazi Zade and Noori (2008), Kumar et al. (2011) 則是應用類神經網路模式 (artificial neural network) 進行城市廢棄物 (municipal solid waste) 產生量之預測。此外，過去探討逆物流議題之相關文獻，主要著重於網路結構設計 (Barros et al., 1998; Chang and Wei, 2000; Shih, 2001; De Koster et al., 2002; Listes, 2005; Sheu, 2005)、存貨管理 (Inderfurth and van der Laan, 2001; Fleischmann et al., 2002; Dobos, 2003)、規劃與控制 (Jayaramam et al., 2003; Ferrer, 2003; Mahadevan, 2003) 與資訊技術 (Landers et al., 2000; Maslennikova and Foley, 2000) 等。綜上，針對電子資訊廢棄物回收活動進行需求調查與分析確有研究之必要，且為了有效掌控電子資訊廢棄物回收量，亦須針對回收量進行準確之預測。

過去相關廢棄物回收量預測方法，可分為時間數列型與機率推估型 (Toktay, 2003)。時間數列型研究，如 Marx-Gomez et al. (2002), Masui (2005), Kang and Schoenung (2006), Hanafi et al. (2007), Jalili Ghazi Zade and Noori (2008), Kumar et al. (2011)，為直接針對回收量時間數列資料，考慮回收量產生之相關解釋變數進行預測。而機率推估研究，如 Toktay (2003), 張淑卿 (民 91), 溫麗琪等人 (民 94)，則針對產品銷售後往後之各個時點的可能回收機率進行推測，再利用產品銷售資料 (產品出貨量) 預測回收量，但所推測之回收量與實際回收量間往往誤差很大。鑒此，整合機率推估型與時間數列型之回



收量預測方法即具有研究空間。

本研究即針對電子資訊廢棄物品（包含：廢棄個人電腦主機、廢棄筆記型電腦、廢棄顯示器與廢棄印表機），嘗試建構一整合廢棄物回收需求分析與回收量預測模式，並採正向出貨量推測逆向回收量方式，藉由電子資訊產品出貨量、使用年限機率與回收機率函數進行未來潛在回收量之推估，再透過類神經網路模式，預測電子資訊廢棄物回收量。在使用年限機率推估上，假設電子資訊廢棄物使用年限呈常態分配，此外，使用二元羅吉斯迴歸(logistic regression)模式建構回收機率函數。然而，此推估之潛在回收量與實際回收量仍有差距，且實際回收量具有不規則、不確定等特性 (Toktay, 2003; Hanafi et al., 2007)，所以本研究進一步應用類神經網路進行回收量預測，以修正潛在回收量與實際回收量之誤差與降低其不確定性。

本文結構如下：第二節為電子資訊廢棄物回收需求分析，從中了解影響電子資訊廢棄物回收之因素，作為回收機率模式之需求因素；第三節建構電子資訊廢棄物回收量預測模式；第四節進行範例分析，並於第五節彙整結論與建議。

貳、電子資訊廢棄物之回收需求分析

本研究首先進行電子資訊廢棄物之回收需求調查與分析，調查之目的在於了解電子資訊物品從產生回收需求至實際形成廢棄物回收之過程，並從中了解影響回收量之因素。本研究電子資訊廢棄物回收需求分析與回收量預測之研究架構與模式連結圖示於圖 1，首先藉由探索性因素分析萃取出電子資訊廢棄物回收關鍵考量因素，再由回收處理方式與應用二元羅吉斯迴歸模式建構回收機率模式，之後再利用使用年限機率與回收機率函數進行回收量推測，最後應用倒傳遞網路模式建構回收量預測模式。

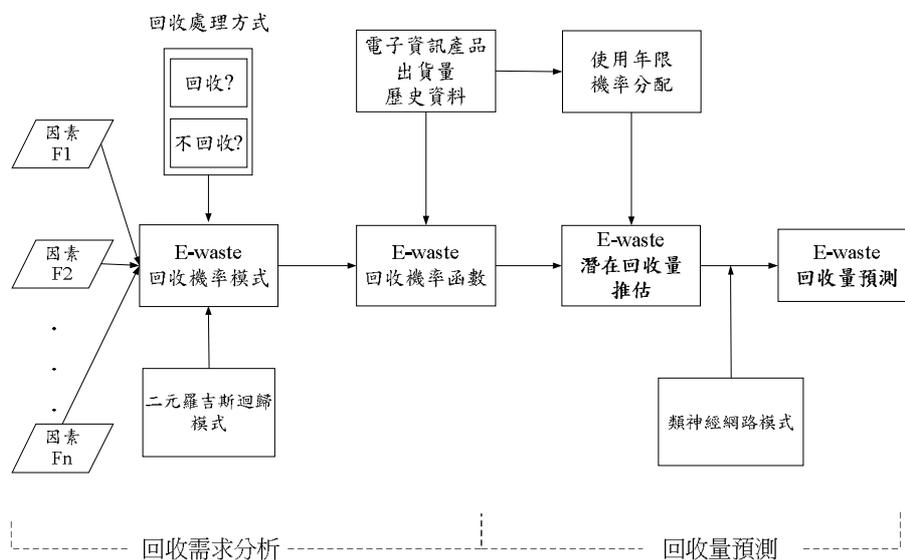


圖 1 研究架構與模式連結

一、問卷調查與分析

本研究主要分析「電子資訊物回收發生原因」、「電子資訊廢棄物回收考量因素」之關鍵影響因素。電子資訊產品之客戶可分為企業用戶(及大宗採購之機關團體)與個體消





費者(即一般個人與家庭消費者)，由於企業用戶與個體消費者兩族群對於電子資訊廢棄物處理情況可能不同，因此本研究研擬問項亦不同。以下分別說明企業用戶與個體消費者兩群體問卷調查與分析結果：

(一) 企業用戶問卷調查與分析

本研究企業用戶問卷調查對象為政府機關、學校、法人團體、企業等之群體。問卷調查範圍為台灣地區，不包含離島地區。受訪對象為負責該單位電子資訊廢棄物回收、財產處置人員，調查時間為 97 年 8 月 20 日至 97 年 11 月 15 日。由於調查對象實際母體並無法得知，所以本研究調查名單採用環保署 95、96 年二手電腦回收轉贈作業名單、教育部各級學校名單、工商名錄與經濟部許可設立財團法人名冊，經初步篩選重覆或無法取得聯絡資料之名單後，總共採用 420 份名單進行問卷調查。本研究以五等量表問卷進行調查，調查方式為親自前往與郵寄發放。親自前往之目的為提高回收率且藉由實際訪談可以了解各族群之作業流程，以供後續郵寄發放時之問卷修改與參考。本研究總共發放 420 份問卷(親自前往 40 份、郵寄 380 份)，回收 120 份，回收率為 28.57%，有效問卷為 113 份，有效問卷回收率約為 26.90%，無效問卷為 7 份，主要原因在於填答不完整或完全填答相同尺度，因此視為無效問卷。

本研究針對企業用戶群體問卷之「電子資訊物回收發生原因」、「電子資訊廢棄物回收考量因素」進行探索性因素分析，並應用主成份分析法，以最大變異數法進行直交轉軸，使各問項之因素負荷量能夠變大或變小以更清楚歸納各因素，此外，採用 Kaiser 準則選取特徵值大於 1 之因素且刪除相關性低與兩個因素以上之因素負荷量大於 0.5 的問項。

在信度分析部份，主要在於分析量表之可靠性與一致性，本研究採用 Cronbach's α 值來衡量一致性，若 α 值小於 0.35 則予以刪除。效度分析部份，主要在於分析量表之準確性與正確性，本研究採用收斂效度 (Convergent Validity) 與區別效度 (Discriminate Validity) 探討量表之效度，收斂效度為每個問項在單一構面之因素負荷量大於 0.5；區別效度為每個問項並無同時在多個構面間具有高的因素負荷量，亦即無跨因素負荷 (Cross-Loading) 之現象。因素分析結果如下：

(1) 電子資訊物回收發生原因

本研究採用探索性因素分析萃取出「電子資訊物回收發生原因」之潛在影響因素，其因素負荷量如表 1，若問項之因素負荷量絕對值小於 0.5 或在兩個因素以上絕對值均大於 0.5，則予以刪除並重新執行因素分析，因此「因人為因素或災害、竊盜、不可抗力或其他意外事故，造成資訊物品財產毀損無法繼續使用」這個問項因其因素負荷量小於 0.5，所以刪除此問項並重新執行因素分析，並得出總解釋變異量為 60.09%。分項信度部份，因素一之 Cronbach's α 值為 0.729 > 0.7 表示高信度、因素二之 Cronbach's α 值為 0.509 表示信度尚可 (0.35 < Cronbach's α < 0.7)，此外，整體構面之 Cronbach's α 值為 0.678 表示信度尚可 (0.35 < Cronbach's α < 0.7)，因此，此構面量表均具有可信度。效度部份，各構面因素負荷量均大於 0.5，表示具有收斂效度，且並無跨因素負荷之現象，表示具有區別效度。最後，進行因素命名，因素命名時，主要由因素中相對重要之因素來決定，亦即根據因素負荷量最大之問項來命名。因此，本研究將「電子資訊物回收發生原因」構面之兩個關鍵因素層面分別命名為：「外部因素汰換」與「使用結束汰換」。





表 1 企業用戶族群之電子資訊物回收發生原因因素分析結果

因素結果	問項	因素負荷量	特徵值 (解釋變異量%)	累積解釋 變異量%	α 值
因素一： 外部因素汰換	5. 修復不經濟	0.893	1.999 (33.313%)	33.313%	0.729
	4. 無法修復	0.863			
	3. 軟硬體升級	0.540			
因素二： 使用結束汰換	1. 資訊物品財產已屆規定使用年限而決定報廢	0.803	1.606 (26.774%)	60.09%	0.509
	7. 資訊物品財產已逾使用年限，但仍堪用，依規定延後報廢流用，或報廢回收捐贈	0.628			
	6. 壽命終止	0.617			

(2) 電子資訊廢棄物回收考量因素

本研究採用探索性因素分析萃取出「電子資訊廢棄物回收考量因素」之潛在影響因素，其因素負荷量如下表 2，根據吳明隆（民 92）表示，一個因素層面所包含的問項數目最少三題以上，若問項太少，則無法測出所代表的因素層面特質，其內容效度也會不夠嚴謹。因此，本研究執行第一次因素分析之結果後發現共歸納出 5 個因素層面，但其中有兩個因素層面只包含兩個問項「人情請託」、「供應鏈合作關係壓力」與一個問項「政府單位正式公文」，所以刪除這兩個因素層面之問項，再次進行因素分析。第二次因素分析結果發現，問項「本身報廢與回收制度是否健全與流程是否便捷」之因素負荷量小於 0.5，因此刪除此問項再次進行第三次因素分析，並得出總解釋變異量為 61.00%。分項信度部份，因素一之 Cronbach's α 值為 0.847 > 0.7 表示高信度、因素二之 Cronbach's α 值為 0.768 > 0.7 表示高信度、因素三之 Cronbach's α 值為 0.636 表示信度尚可 (0.35 < Cronbach's α < 0.7)，此外，整體構面之 Cronbach's α 值為 0.852 > 0.7 表示高信度，因此，此構面量表均具有可信度。效度部份，各構面因素負荷量均大於 0.5，即具有收斂效度，且無跨因素負荷之現象，亦具有區別效度。最後將因素分別命名為：「法規與環保概念」、「回收誘因」與「回收服務與經驗」。

(二) 個體消費者問卷調查與分析

本研究另外進行個體消費者群體問卷調查，個體消費者問卷調查對象係指一般消費者，問卷調查範圍亦為台灣地區，不包含離島地區。問卷調查時間為 98 年 1 月 22 日至 98 年 4 月 12 日，此部分問卷總共發放 450 份，回收 273 份，回收率為 60.67%，有效問卷為 258 份，無效問卷為 15 份，無效問卷主要原因在於填答不完全或完全填答相同尺度，因此視為無效問卷。





表 2 企業用戶族群之電子資訊廢棄物回收考量因素分析結果

因素結果	問項	因素負荷量	特徵值 (解釋變異量%)	累積解釋 變異量%	α 值
因素一： 法規與環保 概念	13.綠色政策與經營理念	0.886	3.272 (25.169%)	25.17%	0.847
	12.環保意識	0.854			
	11.社會責任	0.835			
	2. 依「廢棄物清理法」與「資源回收再利用法」規定資訊電子電機設備為應回收之廢棄物	0.664			
	1. 歐盟「廢電子電機設備環保指令 (WEEE)」規定製造商必須負起廢電子電機設備的回收責任	0.557			
因素二： 回收誘因	8. 資訊物品製造商提供回收獎勵金或折價卷	0.860	2.531 (19.472%)	44.64%	0.768
	9. 報廢品的出售價格	0.850			
	10.回收逆物流成本	0.605			
	7. 形象廣告宣傳	0.506			
因素三： 回收服務與 經驗	5. 資訊物品製造商回收服務與處理體系是否方便周詳	0.730	2.126 (16.352%)	61.00%	0.636
	6. 資訊物品製造商回收服務或回收商對回收報廢品的限制	0.666			
	4. 相關回收再利用專案配套服務	0.598			
	14.回收經驗	0.563			

本研究亦針對個體消費者群體之「電子資訊物回收發生原因」、「電子資訊廢棄物回收考量因素」進行探索性因素分析，其結果如下：

(1) 「電子資訊物回收發生原因」

本研究採用探索性因素分析萃取出「電子資訊物回收發生原因」之潛在影響因素，其因素負荷量如表 3，若問項之因素負荷量絕對值小於 0.5 或在兩個因素以上絕對值均大於 0.5，則予以刪除並重新執行因素分析，因此「意外損壞」、「售後維修」這二個問項因其因素負荷量小於 0.5，所以刪除此問項並重新執行因素分析，並得出總解釋變異量為 62.771%。分項信度部份，因素一之 Cronbach' s α 值為 0.714 \geq 0.7 表示高信度、因素二之 Cronbach' s α 值為 0.700 \geq 0.7 表示高信度，此外，整體構面之 Cronbach' s α 值為 0.689 表示信度尚可 (0.35 < Cronbach' s α < 0.7)，因此，此構面量表均具有可信度。效度部份，各構面因素負荷量均大於 0.5 且並無跨因素負荷之現象，表示具有收斂效度





與區別效度。最後將因素分別命名為：「外部因素與使用結束汰換」與「退貨」。

表 3 個體消費者族群之資訊物品回收發生原因因素分析結果

因素結果	問項	因素負荷量	特徵值 (解釋變異量%)	累積解釋 變異量%	α 值
因素一： 外部因素與 使用結束汰 換	6. 修復不經濟	0.829	2.178 (36.304%)	36.304%	0.714
	5. 無法修復	0.805			
	7. 壽命終止	0.719			
	4. 軟硬體升級	0.554			
因素二： 退貨	1. 損壞退貨保證	0.884	1.588 (26.468%)	62.771%	0.700
	2. 保固期間退換貨	0.851			

(2) 「電子資訊廢棄物回收考量因素」：

本研究採用探索性因素分析萃取出「電子資訊廢棄物回收考量因素」之潛在影響因素，其因素負荷量如下表 4，因問項「回收便利性」因素負荷量均小於 0.5 與其中有一個因素層面只包含「配合政府政策」一個問項。所以刪除這兩個問項，再次進行因素分析，並得出總解釋變異量為 61.032%。分項信度部份，因素一之 Cronbach' s α 值為 0.730 > 0.7 表示高信度、因素二之 Cronbach' s α 值為 0.744 > 0.7 表示高信度、因素三之 Cronbach' s α 值為 0.618 表示信度尚可 (0.35 < Cronbach' s α < 0.7)，此外，整體構面之 Cronbach' s α 值為 0.768 > 0.7 表示高信度，因此，此構面量表均具有可信度。而效度部份，均具有收斂效度與區別效度。最後將因素分別命名為：「環保概念」、「回收誘因」與「回收服務與經驗」。

表 4 個體消費者族群之電子資訊廢棄物回收考量因素分析結果

因素結果	問項	因素負荷量	特徵值 (解釋變異量%)	累積解釋 變異量%	α 值
因素一： 環保概念	12. 環保標籤	0.794	2.249 (22.490%)	22.490%	0.730
	7. 環保意識	0.744			
	11. 回收宣傳活動	0.704			
	8. 回收經驗	0.617			
因素二： 回收誘因	5. 報廢品的出售價格	0.858	2.077 (20.766%)	43.256%	0.744
	4. 資訊物品製造商提供回收獎勵金或折價卷	0.762			
	10. 回收品數量多寡	0.731			
因素三： 回收服務與 經驗	2. 資訊物品製造商回收服務與處理體系是否方便周詳	0.797	1.778 (17.776%)	61.032%	0.618
	3. 資訊物品製造商回收服務或回收商對回收報廢品的限制	0.759			
	6. 回收逆物流成本	0.564			



二、生命終期電子資訊物品平均使用年限機率

本研究依據問卷調查得出生命終期(EOL)電子資訊物品平均使用年限，由於均為最終消費者，所以可將企業用戶與個體消費者族群之電子資訊物品平均使用年限進行結合，視為同一群體。此外，本研究參考 Kang and Schoenung (2006) 與張淑卿 (民 91) 假設電子資訊物品於第 3 年開始才可能會有廢棄物回收的產生、且使用年限 7 年以上以 7 年計算之。本研究問卷亦簡化時間點以半年計，因此可能之廢棄物回收年期為：3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7 (包含 7+) 年。且假設資訊物品平均使用年限呈常態分配，藉由問卷調查得出平均使用年限之平均數與標準差，再利用常態分配公式求取平均使用年限之機率 Pr^{LC} ，其結果表示於表 5。

參、電子資訊廢棄物之回收量預測模式

本研究結合機率推估型與時間數列型二種預測模式，建構電子資訊廢棄物回收量預測模式。模式建構流程上，首先採用機率推估模式進行電子資訊廢棄物潛在回收量推估，此為以出貨量推估潛在回收量之觀點，且基於電子資訊物品均具有一定使用年限之觀念，但由於使用年限之概念為電子資訊物品經使用後，未來每一段期間內可能

表 5. 電子資訊物品平均使用年限機率

年期	個人電腦平均使用 年限機率	監視器平均使用 年限機率	筆記型電腦平均使用 年限機率	印表機平均使用年 限機率
3	0.078	0.07	0.086	0.085
3.5	0.074	0.067	0.078	0.067
4	0.111	0.102	0.113	0.095
4.5	0.141	0.133	0.142	0.121
5	0.155	0.15	0.154	0.135
5.5	0.146	0.147	0.143	0.135
6	0.119	0.125	0.115	0.12
6.5	0.083	0.091	0.08	0.094
7 以上	0.093	0.115	0.089	0.148
加總	1	1	1	1

會進行汰換的機率，而此一概念並無法表達最終消費者是否在汰換後就將廢棄物進行回收，因此，本研究結合使用年限機率與回收機率進行未來潛在回收量之推測。其中，回收機率則是藉由問卷調查所得之最終消費者進行電子資訊廢棄物回收考量因素之因素分數與電子資訊廢棄物處理方式進行二元羅吉斯迴歸分析，以求得最終消費者進行電子資訊廢棄物回收之機率。再者，由於實際回收量具有高度不規則、不確定與變化波動大之特性，且所推測之潛在回收量與實際回收量會有差距，因此本研究進一步利用類神經網路模式之倒傳遞網路模式，進行潛在回收量與實際回收量誤差之修正與預測。本研究電子資訊廢棄物回收量預測模式流程圖示於圖 2。



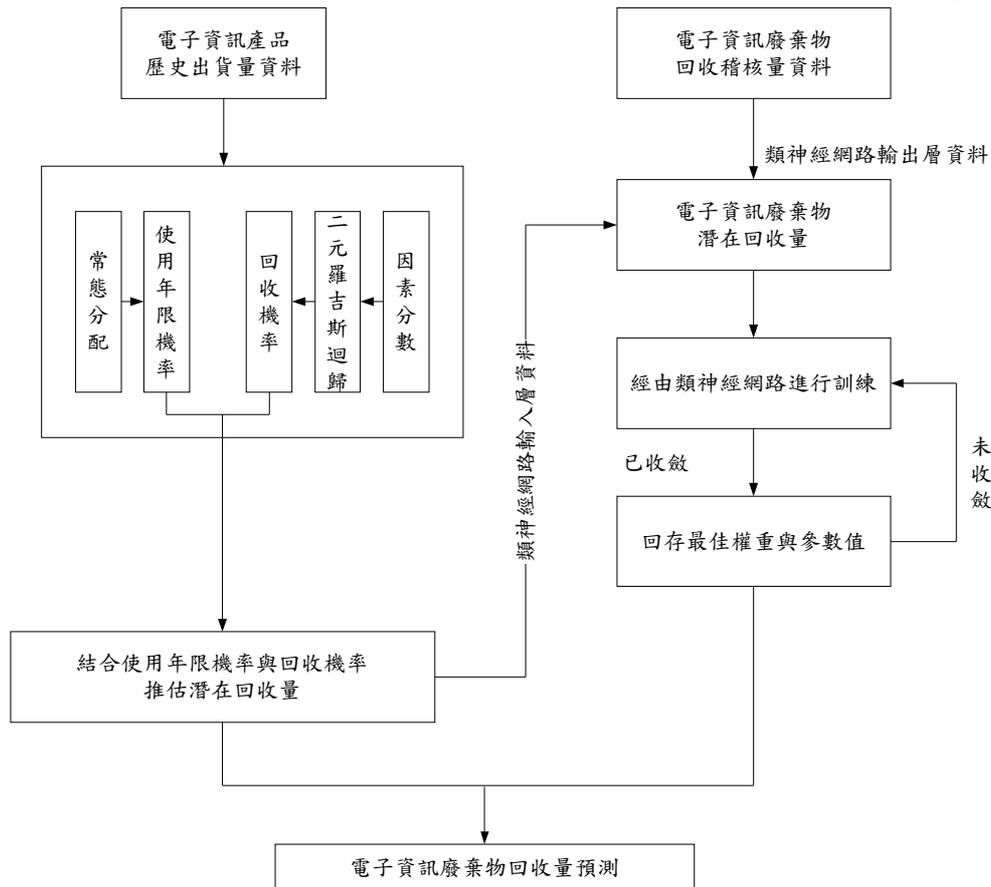


圖 2. 回收量預測模式流程圖

(一)回收機率推估

本研究首先依據問卷調查結果之電子資訊廢棄物回收考量因素與回收處理方式進行回收機率函數之建構，建構此回收機率的目的是在於探討最終消費者將電子資訊廢棄物進行回收時會考量哪些因素，而考量了這些因素之後，實際進行回收之可能性機率。因此，本研究應用二元羅吉斯迴歸分析建構電子資訊廢棄物回收機率函數，模式變數定義如下：

Pr_{B2B} ：企業用戶族群每位樣本電子資訊廢棄物回收機率函數，

Pr_{B2C} ：個體消費者族群每位樣本電子資訊廢棄物回收機率函數，

Y_{B2B} ：企業用戶族群回收/不回收 (1, 0) 決策變數，

Y_{B2C} ：個體消費者族群回收/不回收 (1, 0) 決策變數，

β_0^B, β_0^C ：二元羅吉斯迴歸常數項，

β_k ：二元羅吉斯迴歸係數， $k = 1, 2, \dots, 6$ ，

X_k ：回收考量因素之因素分數 (Factor Scores)， $k = 1, 2, \dots, 6$ ，

其中，由本研究企業用戶與個體消費者族群之回收考量因素分析結果可知，此二族



群之關鍵影響因素各萃取出三個因素，令 k=1 為企業用戶族群「法規與環保概念」層面之因素分數、k=2 為企業用戶族群「回收誘因」層面之因素分數、k=3 為企業用戶族群「回收服務與經驗」層面之因素分數、k=4 為個體消費者族群「環保概念」層面之因素分數、k=5 為個體消費者族群「回收誘因」層面之因素分數、k=6 為個體消費者族群「回收服務與經驗」層面之因素分數。

本研究回收機率模式建構如下：

$$Y_{B2B} = \beta_0^B + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

$$\Pr^R_{B2B} = \frac{e^{Y_{B2B}}}{1 + e^{Y_{B2B}}} \quad (2)$$

$$Y_{B2C} = \beta_0^C + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 \quad (3)$$

$$\Pr^R_{B2C} = \frac{e^{Y_{B2C}}}{1 + e^{Y_{B2C}}} \quad (4)$$

最後將企業用戶與個體消費者族群之電子資訊廢棄物回收機率進行結合，並求出每個樣本之回收機率再取樣本平均數代表整體最終消費者對於電子資訊廢棄物進行回收之機率 \Pr^R ，本研究之回收機率為整體電子資訊廢棄物回收機率，如下：

$$\Pr^R = \frac{\sum_i^{n_1} \Pr^R_{B2B_i} + \sum_j^{n_2} \Pr^R_{B2C_j}}{(n_1 + n_2)} \quad (5)$$

其中， \Pr^R 為電子資訊廢棄物回收機率函數，屬於離散機率型態， n_1 、 n_2 分別為企業用戶與個體消費者族群問卷調查總樣本數。

(二)回收量預測模式

在電子資訊廢棄物回收量預測模式之建構上，本研究分成兩階段進行建模。第一階段建模，本研究先進行電子資訊廢棄物之潛在回收量推測，基於電子資訊產品進入消費市場後於一定使用年限後才會進入回收市場的概念，並假設電子資訊物品最終會流入廢棄物回收系統，依據 Kang and Schoenung (2006) 建構函數如式(6)，而此一假設與「廢棄物清理法」規定資訊物品為應回收物品之規定相符。式(6)的概念為電子資訊廢棄物第 t 期的回收量 $outflow(t)$ 會等於第 t 期之前 (t-i 期) 的資訊物品進入消費市場的總量 $\sum inflow(t-i)$ 。

$$outflow(t) = \sum_i inflow(t-i) \quad (6)$$



再者，本研究採用使用年限機率的觀念，藉由電子資訊物品出貨量與使用年限機率以及回收機率函數進行潛在回收量推測。相關變數定義如下：

RD_t ：第 t 期潛在回收量，

S_{t-i} ：第 $t-i$ 期出貨量，

$Pr^{LC}(k)$ ：第 k 期使用年限機率， $\sum_{k=3}^7 Pr^{LC}(k) = 1$ ，

Pr^R ：回收機率函數。

本研究考量電子資訊物品具有產品保固之特性，但因各類資訊產品保固期限並不一致，所以本研究參考 Kang and Schoenung (2006) 假設之電子資訊廢棄物於出貨 2 年內並不會有逆物流回收的產生，即第 3 年開始才會有電子資訊廢棄物回收的產生，此外，由於各類電子資訊產品的使用年限也不一致，為簡化模式之應用，本研究參考張淑卿(民 91) 將使用年限 7 年以上以 7 年計算之。本研究問卷亦簡化時間點以半年計，因此可能回收年期為：3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7 (包含 7+) 年。本研究建立電子資訊廢棄物潛在回收量推估，即假設第 t 期潛在回收量 RD_t 為第 $t-3$ 期出貨量乘以使用年限 3 年之機率 $Pr^{LC}(3)$ 再乘以回收機率 Pr^R ，加上第 $t-3.5$ 期出貨量乘以使用年限 3.5 年之機率 $Pr^{LC}(3.5)$ 加第 $t-3$ 期末未回收的量（第 $t-3$ 期出貨量乘以使用年限 3 年之機率 $Pr^{LC}(3)$ 再乘以未回收機率 $(1-Pr^R)$ ）再乘以回收機率 Pr^R ，以此類推加總至 $t-7$ 期，推導第 t 期潛在回收量 RD_t 之通式如式(7)：

$$RD_t = Pr^R \left\{ \sum_{i=6}^{14} (S_{t-0.5i}) [Pr^{LC}(0.5i)] (1 - Pr^R)^{14-i} \right\} \quad (7)$$

第二階段建模，則進一步考量上述以出貨量與使用年限機率及回收機率函數所推測之潛在回收量（式(7)）與實際回收量之間具有高度誤差，且因實際回收量具有波動變化大與不確定特性，一般預測方法難以精準預測，所以本研究採用倒傳遞類神經網路具有適應性學習能力之特性，進行電子資訊廢棄物回收量之預測。本研究回收量預測之類神經網路模式建構流程如圖 3 所示。

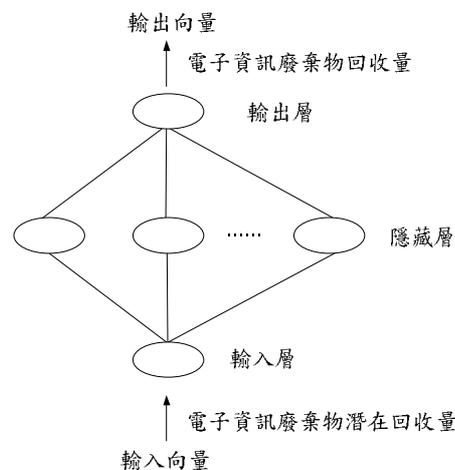


圖 3. 回收量類神經網路預測模式架構



圖 3 倒傳遞網路模式之建構，採用以出貨量與平均使用年限機率及回收機率函數所推測之潛在回收量作為輸入層之輸入向量；而輸出層部分，則採用實際回收量作為預測目標之輸出向量。潛在回收量即隱含以電子資訊產品出貨量、使用年限機率、回收機率為輸入變數之中介輸出結果（式(7)），再代入類神經網路模式進行訓練與測試；在模式本質上，由式(7)代入輸入層，即表示第 t 年回收量輸出值係透過輸入 $(t-3)$ 年~ $(t-7)$ 年各時點產品出貨量乘上使用年限機率及回收機率之組合作為輸入向量而進行預測。

類神經網路之倒傳遞網路學習流程則表示於圖 4，倒傳遞類神經網路的學習架構流程主要以 Delta-Rule 方式不斷修正神經網路中的權值(weight)，在修正的過程中追求輸出(output)結果符合期待(desired)的目標結果。在每一個訓練迭代中，給予神經網路一個輸入值和期望輸出值，期望輸出值不斷監督神經網路去修正權值，在整個訓練過程中不斷修正權值，來修正神經網路輸入值與期望輸出值之間的誤差，直到誤差小於一定的臨界值或權值不再改變才會停止訓練的學習法則。本研究採用雙曲線轉換函數，輸出層為單一輸出、輸入層亦為單一輸入單元。為充分掌握變數間複雜的互動現象，以監督式學習模式之正確目標輸出值(target outputs)作為依據；網路依輸入值計算網路輸出值，並和該輸入的目標輸出值比較，加以訓練、測試與驗證，依此調整權重，重複訓練至誤差在容許範圍內。

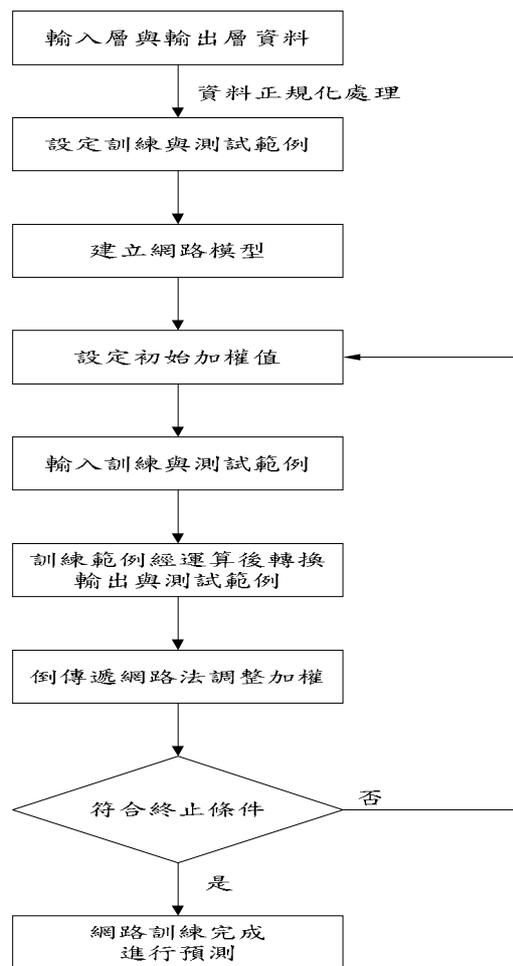


圖 4 倒傳遞網路學習流程圖





隱藏層的神經元個數則採試誤法加以決定，一般隱藏層神經元數為輸入層與輸出層神經元數和的平均數，或是輸入層與輸出層相乘後，再開根號所得，至於確切的數目，則需以模式訓練藉由試誤法加以決定。本研究採用平均法作為初始隱藏層神經元數目，即隱藏層神經元數 = (輸入層神經元數 + 輸出層神經元數) / 2 的法則 (亦即，初始隱藏層神經元數 = 1)，再透過遞增增量 1 的方式進行試誤，以決定隱藏層神經元最佳數目，並建構類神經網路模式。

類神經網路參數設定上，學習演算法採用動量批次最陡坡降法，學習速率設為 0.001，學習次數設為 100。而本研究亦以試誤法決定資料筆數的選取方式，其中分別設定訓練資料與驗證資料分配比率為：85%與 15%、80%與 20%及 75%與 25%，再經過網路輸出之均方誤差值(MSE)及相關係數值(R)作為綜合判斷優劣依據，最後係以 75%與 25%之分配比率作為模式訓練資料與驗證資料選取結果，亦即，75%之歷史資料為訓練資料作為模式建構組數據、剩餘 25%之資料(時間期為後面 25%筆數之數據)為驗證資料作為模式驗證組數據。另外在訓練過程中，模式建構組數據再分別各設定其中的 25%數據作為交互驗證與測試之用，以檢測網路是否出現過度訓練(over training)情形。

肆、預測分析結果

本研究以電子資訊物品出貨量與電子資訊廢棄物回收量資料，進行回收量預測分析，以驗證本研究模式之可行性與預測模式準確度。在電子資訊廢棄物回收機率推估部分，本研究藉由前節之問卷調查所得之電子資訊廢棄物回收考量因素與回收處理方式判斷每位受測樣本將電子資訊廢棄物進行回收與否(0 與 1 回收事件型態)，採用二元羅吉斯迴歸分析模式建構回收機率，輸入變數則包含回收考量因素之因素分數與回收處理方式之 0 與 1 回收事件型態。企業用戶與個體消費者族群二元羅吉斯迴歸式(Y_{B2B} 、 Y_{B2C})與每位受測樣本回收機率(Pr_{B2B} 、 Pr_{B2C})表示如下：

$$Y_{B2B} = 0.488 - 0.076X_1 + 0.284X_2 - 0.137X_3 \quad (8)$$

$$Pr_{B2B}^R = \frac{e^{0.488 - 0.076X_1 + 0.284X_2 - 0.137X_3}}{1 + e^{0.488 - 0.076X_1 + 0.284X_2 - 0.137X_3}} \quad (9)$$

$$Y_{B2C} = 0.144 + 0.152X_4 - 0.094X_5 - 0.011X_6 \quad (10)$$

$$Pr_{B2C}^R = \frac{e^{0.144 + 0.152X_4 - 0.094X_5 - 0.011X_6}}{1 + e^{0.144 + 0.152X_4 - 0.094X_5 - 0.011X_6}} \quad (11)$$

其中， X_1 、 X_2 、 X_3 為企業用戶之因素分數，分別為法規與環保概念、回收誘因、回收服務與經驗之因素分數；而 X_4 、 X_5 、 X_6 為個體消費者之因素分數，分別為環保概念、回收誘因、回收服務與經驗之因素分數。之後再將 Pr_{B2B} 與 Pr_{B2C} 結合，並求其平均數以代表整體回收機率 $Pr^R = 0.5588$ 。

本研究以台灣地區資訊電子產業生產統計月報所發佈之電子資訊物品內銷出貨量資料作為輸入資料，而以行政院環保署所發佈之廢棄物品及容器回收稽核認證量統計資料中的電子資訊廢棄物回收量作為實際回收量數據資料。本研究取 94 年至 97 年每月電子資訊廢棄物回收稽核認證量共 48 筆數據，經前述測試結果以 75%與 25%之分配比率，選取民國 94 年 1 月至 96 年 12 月共 36 筆數據資料進行模式建構，又以 97 年 1 月至 97





年 12 月共 12 筆數據作為後續模式準確度驗證比較之依據。並且取 87 年至 95 年電子資訊物品每月內銷出貨量作為推測 94 年至 96 年每月潛在回收量之輸入資料。

本研究第一階段建模，藉由 87 年至 95 年電子資訊物品每月出貨量、使用年限機率與回收機率函數進行潛在回收量推測，得到 94 年至 96 年每月潛在回收量推估結果與實際回收量如下表 6 與圖 5。由表 6 與圖 5 可知，潛在回收量與實際回收量間差距頗大，代表實際的回收稽核認證量存有很高之不確定性，因此，本研究進一步再藉由類神經網路之倒傳遞網路進行修正與預測。

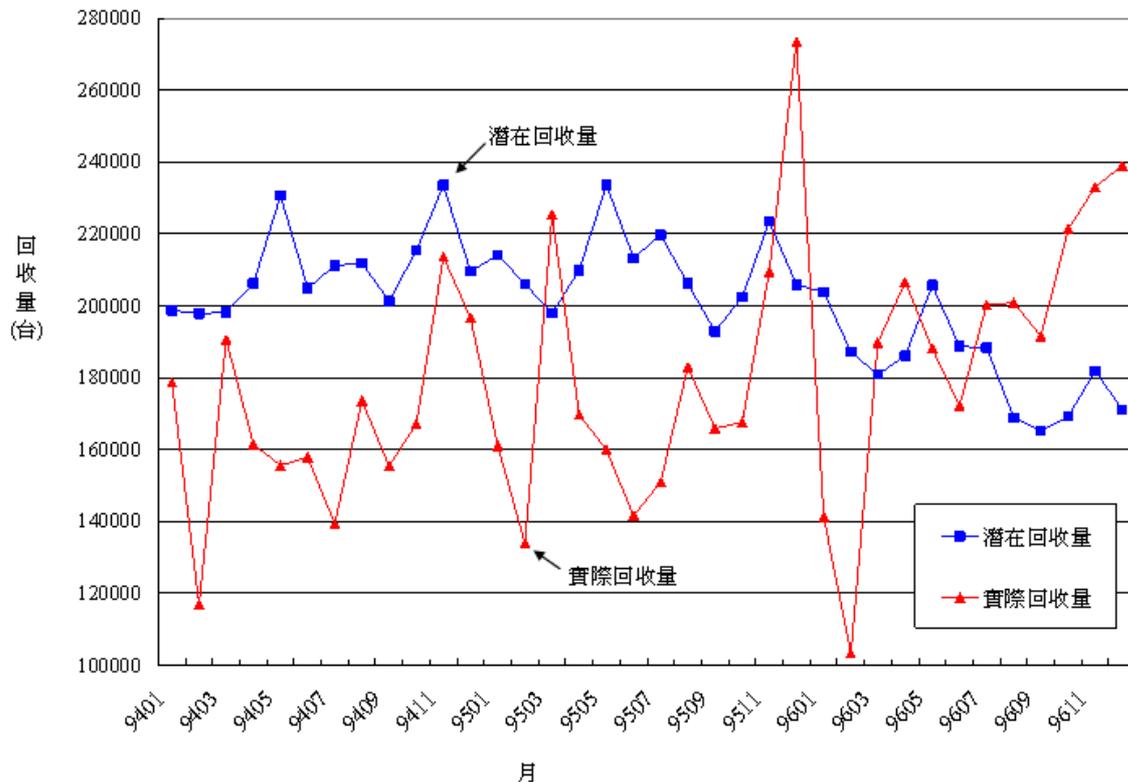


圖 5 潛在回收量與實際回收量比較圖

第二階段建模，採用 MATLAB (6.5)軟體之類神經網路運算模組作為網路訓練、測試及驗證運算程式。透過試誤法決定隱藏層神經元最佳數目為 10，因此建構網路架構為 1-10-1 (輸入層含 1 個神經元、隱藏層含 10 個神經元與輸出層含 1 個神經元) 之倒傳遞類神經網路。此外，採平均絕對百分比誤差 (mean absolute percentage error, MAPE) 驗證模式之預測準確度。另外訓練過程中，經交互驗證與測試並沒有出現任何顯著的過度訓練發生。本研究預測結果列示於表 7，由表 7 可知，本研究於模式擬合(model fitted) 樣本部份，平均誤差為 10.54%；預測樣本部份，平均誤差為 12.35%。

進一步，針對不同預測模式進行比較分析，以驗證本研究預測模式之準確度。本研究分別探討機率推估型、時間數列型、整合型(整合機率推估型與時間數列型)此三種預測模式型態之準確度。機率推估型預測模式係為使用年限法，即為利用出貨量、使用年限機率與本研究回收機率函數所推估之潛在回收量。時間數列型預測模式則直接使用實際回收量建構時間數列模式，ARIMA(1,1,1)與 GM(1,1)模式，進行預測。整合型預測模式，則依循本研究兩階段建模概念，僅將第二階段預測方法改以迴歸模式與灰色系統預測模式進行預測，二元線性迴歸與 GM(1,2)模式，即模式自變數為潛在回收量(式(7))、





應變數為實際回收量。

表 6 潛在回收量與實際回收量比較表

月	潛在回收量	回收量	誤差(%)	月	潛在回收量	回收量	誤差(%)
9401	198721	178741	11.18	9601	203856	141280	44.29
9402	197837	116774	69.42	9602	187203	103321	81.19
9403	198251	190630	4.00	9603	180852	189787	4.71
9404	206227	161537	27.67	9604	186078	206659	9.96
9405	230625	155620	48.20	9605	205721	188091	9.37
9406	204960	157833	29.86	9606	188701	172245	9.55
9407	211261	139366	51.59	9607	188371	200272	5.94
9408	211848	173528	22.08	9608	168916	200843	15.90
9409	201384	155426	29.57	9609	165128	191590	13.81
9410	215466	167203	28.86	9610	169283	221320	23.51
9411	233572	213659	9.32	9611	181903	233099	21.96
9412	209528	196599	6.58	9612	171109	238996	28.41
9501	214181	161122	32.93	9701	162490	240020	32.30
9502	206102	133817	54.02	9702	145875	187404	22.16
9503	197894	225377	12.19	9703	145815	264922	44.96
9504	209938	169791	23.64	9704	143642	242530	40.77
9505	233609	159814	46.18	9705	154255	218228	29.31
9506	213283	141590	50.63	9706	147724	215888	31.57
9507	219819	151018	45.56	9707	140424	217312	35.38
9508	206134	183034	12.62	9708	126696	168461	24.79
9509	192940	165849	16.33	9709	131659	140281	6.15
9510	202434	167682	20.72	9710	130592	174895	25.33
9511	223483	209525	6.66	9711	132901	154249	13.84
9512	205886	273428	24.70	9712	131049	153436	14.59

ARIMA(1,1,1)在建模上，本研究採用 SPSS 統計軟體進行 ARIMA 模式之校估與驗證，先將 94 年 1 月至 96 年 12 月回收量數據進行 1 階差分，在運用自我相關係數 (autocorrelation function, ACF)與偏自我相關函數(partial autocorrelation function, PACF)分別判定 MA(q)與 AR(p)，確定模式為 ARIMA(1,1,1)，並由殘差值之 ACF、PACF 診斷模式適合度，而進行預測。而灰色時間數列 GM(1,1)建模，則將 94 年 1 月至 96 年 12 月回收量原始數據($R^{(0)}(k)$)透過 1 階累加生成，再以最小平方求解灰模式參數值，得 GM(1,1)預測式如下：

$$\hat{R}^{(0)}(k) = \left[178741 - \frac{149362.5}{-0.00937} \right] (1 - e^{-0.00937}) e^{0.00937(k-1)} \quad (12)$$

二元線性迴歸與 GM(1,2)模式則以 94 年 1 月至 96 年 12 月潛在回收量(RD)作為自變數，而 94 年 1 月至 96 年 12 月實際回收量作為應變數，進行建模。灰色系統預測模式 GM(1,2)在建模上，須先將變數作 1 階累加生成(即自變數 $RD^{(1)}(k)$ 與應變數 $R^{(1)}(k)$)，再以最小平方求解灰色系統微分方程組，可得 GM(1,2)預測式如下：



$$\hat{R}^{(1)}(k+1) = \left[178741 - \frac{0.443261}{0.49818} RD^{(1)}(k+1) \right] e^{-0.49818k} + \frac{0.443261}{0.49818} RD^{(1)}(k+1) \quad (13)$$

$$\hat{R}^{(0)}(k) = \hat{R}^{(1)}(k) - \hat{R}^{(1)}(k-1)$$

上述 ARIMA 模式、迴歸模式、及 GM(1,1)與 GM(1,2)模式之詳細模式建構方法請分別參考 Box, Jenkins and Reinsel (1994)、林茂文(民 95)、Kutner et al. (2004)、許巧鶯、溫裕弘(民 86)、Hsu and Wen (1998)、Wen (2011)等相關研究。

本研究模式與機率推估型之使用年限法、時間數列型之 ARIMA 與 GM(1,1)模式、整合型之二元迴歸分析與 GM(1,2)模式，預測結果與誤差顯示於表 7 與圖 6。表 7 與圖 6 可知，在模式擬合結果部份，本研究模式平均誤差為 10.54%，模式準確度均較機率推估型之使用年限法 (26.48%)、時間數列型之 ARIMA (16.09%) 與 GM(1,1) (13.54%)、整合機率推估型與時間數列型之二元迴歸分析 (14.55%) 與 GM(1,2)模式 (27.63%) 之準確度佳。而在預測樣本之預測結果部份，本研究模式平均預測誤差為 12.35%，均明顯較機率推估型之使用年限法 (26.76%)、時間數列型之 ARIMA (21.77%) 與 GM(1,1) (24.08%)、整合機率推估型與時間數列型之二元迴歸模式 (22.52%) 與 GM(1,2)模式 (30.62%) 之預測準確度佳。綜合預測結果可知，本研究建構之結合回收機率推估與類神經網路模式之回收量預測模式之預測準確度確實優於其他模式，亦表示本研究模式較具解釋能力且預測能力較佳。

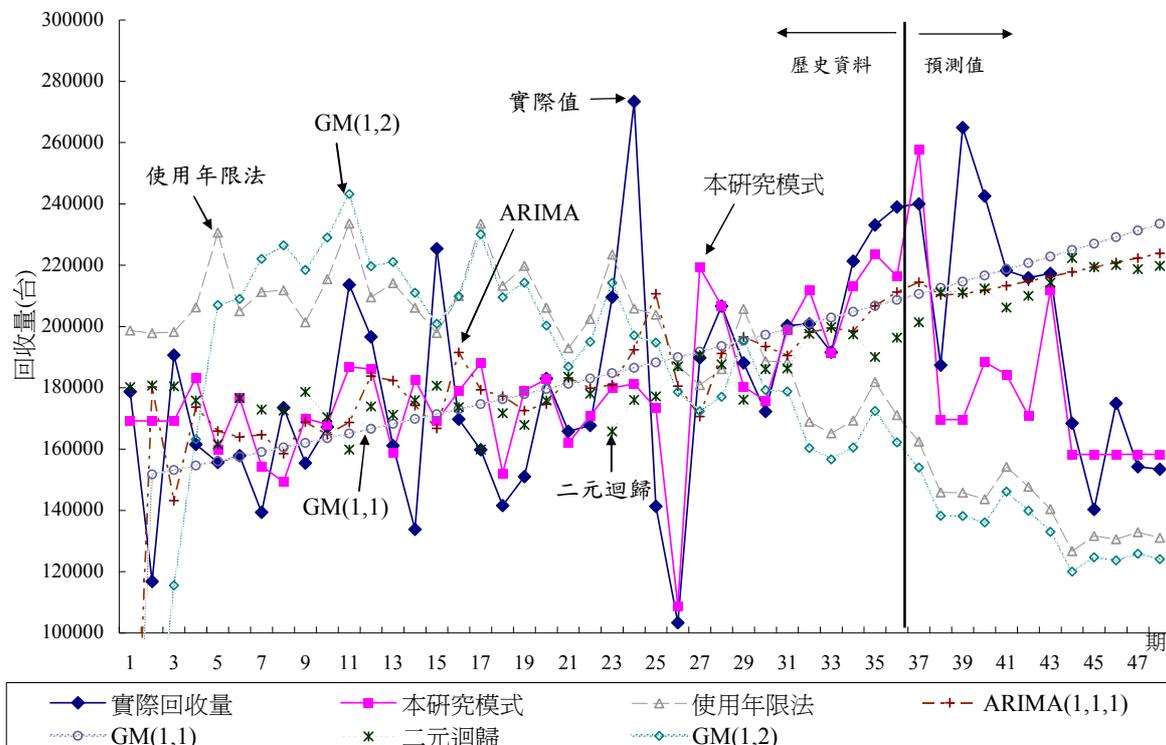


圖 6 模式預測結果比較圖





表7 本研究模式與使用年限法、ARIMA、GM(1,1)、二元迴歸、GM(1,2)預測結果比較表

期數	實際值(台)	本研究模式預測值	誤差(%)	機率推估型		時間數列型				機率推估型+時間數列型				
				使用年限法預測值	誤差(%)	ARIMA(1,1,1)預測值	誤差(%)	GM(1,1)預測值	誤差(%)	二元迴歸預測值	誤差(%)	GM(1,2)預測值	誤差(%)	
擬合樣本	1	178741	169249	5.31	198721	11.18	-	-	-	-	180228	0.83	-	-
	2	116774	169141	44.85	197837	69.42	180253	54.36	151747	29.95	180745	54.78	47400	59.41
	3	190630	169189	11.25	198251	4	143156	24.9	153176	19.65	180503	5.31	115528	39.4
	4	161537	183320	13.49	206227	27.67	173689	7.52	154618	4.28	175841	8.86	163231	1.05
	5	155620	159627	2.57	230625	48.2	165908	6.61	156073	0.29	161580	3.83	206968	33
	6	157833	176764	11.99	204960	29.86	163959	3.88	157542	0.18	176582	11.88	209021	32.43
	7	139366	154443	10.82	211261	51.59	164687	18.17	159025	14.11	172899	24.06	222045	59.32
	8	173528	149317	13.95	211848	22.08	158522	8.65	160522	7.49	172556	0.56	226455	30.5
	9	155426	170069	9.42	201384	29.57	168855	8.64	162034	4.25	178672	14.96	218443	40.54
	10	167203	168055	0.51	215466	28.86	164716	1.49	163559	2.18	170441	1.94	229056	36.99
	11	213659	186848	12.55	233572	9.32	168685	21.05	165099	22.73	159858	25.18	243211	13.83
	12	196599	186137	5.32	209528	6.58	183818	6.5	166653	15.23	173912	11.54	219629	11.71
	13	161122	158935	1.36	214181	32.93	182330	13.16	168222	4.41	171192	6.25	221078	37.21
	14	133817	182549	36.42	206102	54.02	174271	30.23	169805	26.89	175914	31.46	211039	57.71
	15	225377	169148	24.95	197894	12.19	166764	26.01	171404	23.95	180712	19.82	200922	10.85
	16	169791	178968	5.4	209938	23.64	191536	12.81	173017	1.9	173672	2.29	209847	23.59
	17	159814	188025	17.65	233609	46.18	179376	12.24	174646	9.28	159836	0.01	230106	43.98
	18	141590	152140	7.45	213283	50.63	177286	25.21	176290	24.51	171717	21.28	209549	48
	19	151018	179127	18.61	219819	45.56	172600	14.29	177950	17.83	167896	11.18	214326	41.92
	20	183034	182744	0.16	206134	12.62	174719	4.54	179625	1.86	175895	3.9	200307	9.44
預測樣本	21	165849	161905	2.38	192940	16.33	183238	10.48	181316	9.33	183607	10.71	186888	12.69
	22	167682	170934	1.94	202434	20.72	179895	7.28	183023	9.15	178058	6.19	195028	16.31
	23	209525	179954	14.11	223483	6.66	180934	13.65	184746	11.83	165755	20.89	214262	2.26
	24	273428	181275	33.7	205886	24.7	192390	29.64	186485	31.8	176040	35.62	197116	27.91
	25	141280	173292	22.66	203856	44.29	210713	49.15	188240	33.24	177227	25.44	194767	37.86
	26	103321	108868	5.37	187203	81.19	180575	74.77	190012	83.9	186961	80.95	178665	72.92
	27	189787	219248	15.52	180852	4.71	170627	10.1	191801	1.06	190673	0.47	172368	9.18
	28	206659	206761	0.05	186078	9.96	191221	7.47	193607	6.32	187618	9.21	177084	14.31
	29	188091	180356	4.11	205721	9.37	196600	4.52	195429	3.9	176137	6.36	195498	3.94
	30	172245	175806	2.07	188701	9.55	193477	12.33	197269	14.53	186085	8.04	179245	4.06
	31	200272	198810	0.73	188371	5.94	190535	4.86	199126	0.57	186278	6.99	178819	10.71
	32	200843	211860	5.49	168916	15.9	198095	1.37	201001	0.08	197650	1.59	160308	20.18
	33	191590	191358	0.12	165128	13.81	199488	4.12	202893	5.9	199864	4.32	156648	18.24
	34	221320	213167	3.68	169283	23.51	198433	10.34	204803	7.46	197435	10.79	160526	27.47
	35	233099	223697	4.03	181903	21.96	206718	11.32	206731	11.31	190059	18.46	172432	26.03
	36	238996	216347	9.48	171109	28.41	211197	11.63	208677	12.69	196368	17.84	162176	32.14
平均誤差(MAPE) %				10.54		26.48		16.09		13.54		14.55		27.63
預測樣本	37	240020	257625	7.33	162490	32.3	214423	10.66	210641	12.24	201406	16.09	153986	35.84
	38	187404	169648	9.47	145875	22.16	210290	12.21	212624	13.46	211117	12.65	138230	26.24
	39	264922	169607	35.98	145815	44.96	210580	20.51	214626	18.99	211152	20.3	138156	47.85
	40	242530	188407	22.32	143642	40.77	211828	12.66	216646	10.67	212422	12.41	136085	43.89
	41	218228	184392	15.5	154255	29.31	213282	2.27	218686	0.21	206219	5.5	146126	33.04
	42	215888	170866	20.85	147724	31.57	214782	0.51	220744	2.25	210037	2.71	139933	35.18
	43	217312	211829	2.52	140424	35.38	216291	0.47	222822	2.54	214303	1.38	133013	38.79
	44	168461	158256	6.06	126696	24.79	217802	29.29	224920	33.51	222328	31.98	120007	28.76
	45	140281	158266	12.82	131659	6.15	219314	56.34	227037	61.84	219427	56.42	124703	11.1
	46	174895	158259	9.51	130592	25.33	220826	26.26	229175	31.04	220050	25.82	123690	29.28
	47	154249	158293	2.62	132901	13.84	222338	44.14	231332	49.97	218701	41.78	125874	18.4
	48	153436	158262	3.15	131049	14.59	223850	45.89	233510	52.19	219783	43.24	124119	19.11
平均誤差(MAPE) %				12.35		26.76		21.77		24.08		22.52		30.62



伍、結論與建議

本研究進行電子資訊廢棄物回收需求分析與回收量預測，並嘗試將回收需求分析整合於回收量預測模式中。本研究先進行電子資訊廢棄物回收需求調查與分析，並利用探索性因素分析，萃取出回收考量因素。本研究回收量預測模式則採兩階段建模方式，第一階段先藉由平均使用年限與回收機率函數，推測電子資訊廢棄物之潛在回收量；第二階段再應用倒傳遞類神經網路，將潛在回收量推測值作為類神經網路模式之輸入層資料，以更準確預測實際回收量。並與其他預測模式相比較，驗證本研究模式確具可行性及較高之預測準確性。

國內資源回收雖行之有年，但對於一般民眾而言，大部份仍不清楚電子資訊廢棄物相關回收方式與管道，且電子資訊廢棄物資源回收仍屬於推廣階段，因此探討電子資訊廢棄物回收之關鍵潛在影響因素之議題，具有相當的研究價值。本研究利用需求調查而得之電子資訊廢棄物回收考量因素與回收處理方式建構回收機率函數，並藉由電子資訊產品出貨量與使用年限機率以及回收機率函數進行潛在回收量之推測，而此一推估結果亦可提供第三方逆物流回收業者剛進入逆物流回收市場時或無實際回收量資料時之參考。

囿於資料取得之困難，本研究僅藉由稽核認證回收量統計資料進行預測分析，以驗證本研究電子資訊廢棄物回收量預測模式之準確度與可行性。未來後續研究可針對實務上第三方逆物流回收業者實際之電子資訊廢棄物回收量資料，以本研究模式為基礎，進行預測與分析。此外，本研究建構之電子資訊廢棄物回收需求分析與回收量預測模式，不僅在學術上為相關研究之參考，實務上亦可作為政府環保回收政策於回收量推估之依據，以及電子資訊廢棄物回收政策推行策略之參考；以及作為第三方逆物流回收業者進行長期規劃時之參考，包含逆物流回收網路設計、採購決策、容量規劃、回收策略制定等。

參考文獻

1. 林茂文(民 95)。時間數列分析與預測：管理與財經之應用。台北：華泰文化。
2. 吳明隆(民 92)。SPSS 統計應用學習實務—問卷分析與應用統計。台北：知城圖書。
3. 張淑卿(民 91)。臺灣地區廢電腦回收業市場研究。輔仁大學應用統計學系碩士論文。
4. 許巧鶯、溫裕弘(民 86)。台灣地區國際航空客運量之預測－灰色預測模式之應用。運輸計劃季刊，26(3)，525-556。
5. 溫麗琪(民 94)。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，17(3)，491-520。
6. 溫麗琪等人(民 94)。應回收廢棄物責任業者範圍界定與費率因子檢討評估。行政院環境保護署專案計畫報告。
7. Barros, A. I., Dekker, R. & Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, 110 (2), 199-214.
8. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., & Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. NJ: Prentice Hall.





9. Chang, N.B. & Wei, Y.L. (2000). Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multiobjective nonlinear integer programming modeling. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 133-149.
10. Cottrill, K. (2000). Return to sender. *TraNc World*, 262(7), 17-18.
11. De Koster, R. B. M., de Brito, M. P. & van de Vendel, M. A. (2000). Return handling: an exploratory study with nine retailer warehouses. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 30, 407-421.
12. Dobos, I. (2003). Optimal production–inventory strategies for a HMMS-type reverse logistics system. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 351-360.
13. Ferrer, G. (2003). Yield information and supplier responsiveness in remanufacturing operations. *European Journal of Operational Research*, 149, 540-556.
14. Fleischmann, M., Kuik, R. & Dekker, R. (2002). Controlling inventories with stochastic item returns: a basic model. *European Journal of Operational Research*, 138, 63-75.
15. Hanafi, J., Kara, S., & Kaebernick, H. (2007.) Generating fuzzy coloured Petri net forecasting model to predict the return of products. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 245-250, 7-10.
16. Hsu, C.I. & Wen, Y.H. (1998). Improved grey prediction models for trans-Pacific air passenger market. *Transportation Planning and Technology*, 22, 87-107.
17. Inderfurth, K., & van der Laan, E. (2001). Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 71, 381-390.
18. Jalili Ghazi Zade, M., & Noori. R. (2008). Prediction of municipal solid waste generation by use of artificial neural network: a case study of Mashhad. *International Journal of Environment Research*, 2, 13-22.
19. Kang, H. Y., & Schoenung, J. M. (2006). Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 1165-1174.
20. Krumwiede, D. W., & Sheu, C. (2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers. *Omega*, 30, 325-333.
21. Kumar, J.S., Subbaiah, K.V., & Rao, P.V.V.P. (2011). Prediction of municipal solid waste with RBF network: a case study of Eluru, A.P. India. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2, 238-243.
22. Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., & Neter, J. (2004). *Applied Linear Regression Models*. NY: McGraw-Hill.
23. Landers, T.L., Cole, M.H., Walker, B., & Kirk, R.W. (2000). The virtual warehousing concept. *Transportation Research Part E*, 36, 115-126.
24. Listes, O., & Dekker, R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, 160, 268-287.
25. Mahadevan, B., Pyke, D. F., & Fleischmann, M. (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151, 536-551.
26. Marx-Gomez, J., Rautenstrauch, C., & Kruse, R. (2002). Neuro-fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing. *Knowledge-Based System*, 15, 119-128.
27. Maslennikova, I. & Foley, D. (2000). Xerox's approach to sustainability. *Interfaces*, 30, 226-233.





28. Masui, K. (2005). Calculation of amount of discarded end-of-life products by using multi-regression analysis. 2005 Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, pp. 624-625.
29. Sheu, J.B., Chou, Y.H., & Hu, C.C. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E*, 41, 287-313.
30. Shih, L.H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 55-72.
31. Toktay, L.B. (2003). Forecasting product returns. In Guide, Jr. V.D.R., & Van Wassenhove, L.N. (eds.) *Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains* (pp.203-219). Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University Press.
32. Wen, Y.H. (2011). Shipment forecasting for supply chain collaborative transportation management using grey models with grey numbers. *Transportation Planning and Technology*, 34, 605-624.





Recycling demand analysis and quantity forecasting for electronic waste in Taiwan

Yuh-Horng Wen*

Assistant Professor, Department of Transportation Management, Tamkang University

Yu-Meng Kuo

Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University

Abstract

With the global eco-awareness, the European Union has claimed several regulations, such as the Directive on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) to regulate recycling items for end-of-life (EOL) electrical and electronic equipment. Demand analysis and forecasting for electronic waste (e-waste) recycling is a critical foundation in the field of environment and waste management. This study develops a series of models to analyze the demand factors, and to predict the return quantity for e-waste. The first part of this study conducted a demand survey and analysis of e-waste recycling. This study applies exploratory factor analysis to identify key demand for EOL electrical and electronic equipment recycling. This study proposes a binary logistic regression model to determine the return probability. In the second part of the study, this study combines probability estimation and time-series forecasting model to propose a hybrid forecasting model for e-waste return quantity forecasting. Considering useful life of electrical and electronic equipment, the production shipment volume, and the return probabilities, the potential return quantity is estimated. Furthermore, a neural network model is developed to improve the forecasting accuracy and eliminate the uncertainty and randomness surrounding the input data. Finally, an example with e-waste data in Taiwan was provided. The proposed model yields more accurate prediction results than ARIMA, GM(1,1), binary regression and GM(1,2) models. The numerical results verified that the proposed model is practicable, and provide a better prediction and explanation ability.

Keywords: Electronic Waste (e-waste), Recycling Reverse Logistics, Recycling Demand Analysis, Recycling Quantity Forecasting

* E-mail : yhw@mail.tku.edu.tw

