

第一章、前言

1.1 研究緣起

資源回收是將廢棄物減量且資源化之重要環保工作，而設置適當資源回收站，可提升收效益及降低回收成本，亦可兼具轉運之功能（e.g., Misner, 1990; Apotheker, 1997; Sparks, 1998; Hanlon *et al.*, 2000; Anthony and Stetten, 2001; 溫，2002）。目前台灣地區，大多以每週兩次沿街收集的方式進行資源回收工作（新竹市環保局，94年；環保署，94年），但此方式所需花費成本較高，且加上民眾對於資源回收的觀念漸佳的情形下，尋求較具效益的回收方式，即設置回收站的方式，將是一可行的方案。然而若回收站址位置或分佈不恰當，則可能增加環保機關之財政負擔，或降低民眾回收意願，故本研究因而發展資源回收站優選模式，以輔助選擇適當的回收站址。

過去部分資源回收站址優選研究，主要以住戶（需求點）至回收站之服務距離為考量因子，距離越短越能提高回收站使用率，Gonzalez-Torre and Adenso-Diaz（2005）提到，服務距離越短可提高民眾使用回收站之意願，Gershman *et al.*（1995）也曾以行走距離評估定點收集計畫，在其他相關選址研究中，皆有以服務距離作為評估之依據（e.g., Hakimi, 1964, 1965; Teitz and Bart, 1968; Narula *et al.*, 1977; Hodgson, 1978; Neebe, 1978; ReVelle and Elzinga, 1989; Church, 1990; Berman *et al.*, 1991; Gerrard and Church, 1995; Kao and Lin, 2002; 溫，2002等）。故本研究亦以服務距離為主要考量因子。

溫(2002)曾以總服務距離最小為目標，進行回收站選址。其所選擇之站址多較靠近人口居住密集區域，而造成部分人口稀疏之區域居民，無法便利使用資源回收站，產生回收站址分佈不均及區域性公共

設施之不公平 (Church, 1995; Gerrard and Church, 1995) 等問題。故為了增加回收站服務居民之公平性，於回收站選址時，除考量總服務距離外，尚需考量降低最大服務距離，以避免部分居民因距回收站過遠，無法有效使用回收站之不公平情形發生。

有關收集系統的效率評估，Kao and Lin (2002)曾以不同距離內可服務某需求點數目之收集點數評估垃圾收集點之效率。溫(2002)在其所建議的分區可跨區之回收站優選模式中，為避免各區回收站無法有效服務該區居民，以服務本區人口佔全部服務人口數作為考量，限制各回收站應達到一定使用率，來改善回收站使用效率。由於服務距離會影響民眾使用回收站之意願，故在探討服務率時，亦應考量一定距離內可服務民眾之比例為服務率，並作為回收站優選因子，使回收站位置位於多數民眾可接受的距離內，增加民眾使用之意願，提升回收站使用效率。

除了應考量服務距離、服務率、空間均勻性、公平性等作為評選站網的優選因子以外，回收站數是影響成本之重要因子，過多之回收站數，會造成政府成本預算等資源浪費，而過少之回收站數，將造成服務距離增加，降低回收率與民眾參與回收工作意願。故應分析回收站數與總服務距離之關係，協助環保單位以最少資源成本，設置最適當位置之回收站址，提供適當的服務距離。

有鑑於資源回收站站址優選應考量上述各因子，本研究因而分別以區內居民到回收站之最大距離最小、服務率最大及分析回收站數與總距離之關係為目標，試著建立優選模式探討這些因子對於資源回收站址優選之影響。由於資源回收為區域性執行績效評比之重要項目，故本研究分別考量分區不可跨區、分區可跨區及不分區等三種情況，搭配不同選址目標建立選址模式，以期了解不同情況下所得選址方案

之差異性及優劣點。最大服務距離最小化模式，將以分區可跨區及分區不可跨區兩種情況來探討，並於分區不可跨區情況下，進一步分析各行政區最大服務距離之總和最小。而以不分區情形來分析滿足服務率總服務距離最小及回收站數與總距離之關係，求取整體區域之回收站優選。

1.2 研究目的

本研究針對資源回收站設置問題提出最大距離最小、服務率最大及分析回收站數與總距離之關係為目標，搭配分區不可跨區、分區可跨區及不分區等三種情形，建立優選模式，並比較分析各模式求解案例之結果，其主要目的如下：

1. 建立選址模式：因台灣設置回收站並未為資源回收工作之主流，經驗尚未充足，且若以舊有傳統經驗法則規劃回收站址，也往往會受主觀影響，而無法設置最佳位置之回收站，故本模式提供分區可跨區總距離最小化、分區不可跨區總距離作小化，分區不可跨區所有區域最大服務距離最小化、不分區服務率最大、不分區總站數最少及分析溫（2002）不分區總距離最大之站數和平均離之關係等模式，多方考量不同情形方案，提供決策者進行優選站址設置。
2. 應用模式增進選址結果之公平性：本研究為避免回收站址落於人口較密集地區，而使居住於人口稀疏地區居民無法有效使用回收站，造成不公平之問題，提出最大服務距離最小化之考量因子，並考量可服務多數居民，加以提出服務率最大目標，且衡量回收站數對於平均距離及成本效益之影響，建立優選模式，比較各模式所選定回收站址之優劣。

3. 探討分區站數優選：過去文獻對於是否分區及跨區，用於資源回收站址設置之結果差異分析較少，本研究將以最大服務距離最小、服務率最大及回收站數與平均服務距離之關係等目標，結合分區可跨區、分區不可跨區及不分區等三種情形，提出數各模式，比較分區、跨區與否對於結果之影響。

1.3 論文內容

第二章將進行回收站設置、服務距離、區域均衡性及分區模式等項目，進行文獻回顧。第三章將說明研究方法、研究流程及介紹各各回收站優選模式。第四章以新竹市東區 15 個及北區 1 個，共 16 個里，進行案例分析，分析探討各各模式間對於回收站址優選之差異性，評估其優缺點。最後對本研究作一總結並建議後續研究可能可進行之方向。



第二章、文獻回顧

以下依照回收站設置、服務距離最小、區域均衡性、分區模式等順序進行文獻回顧與討論。

2.1 回收站設置

增加廢棄物資源回收是發展中城市達到永續目標之重要工作 (Kaseva and Gupta, 1996; Anjum and Deshazo, 1996; Seik, 1997; Kaseva *et al.*, 2002)，而設置適當資源回收站址是一有效的作法 (溫, 2002)，因國內目前較少設置大型回收站，故參考國外設置經驗作為參考。Anthony(2001)提到美國德拉瓦(Delaware)州目前有142個回收站，約可服務1500人，每站服務距離在5哩內，場址需要80~100呎大的空地、和具連接便利之道路、和地區照明，並提供24小時的連續服務。且回收站之設置位置，應位於大部分民眾較易到達之公共區域，Sparks(1998)提到回收站典型的設置地點有提供的或公有地上，購物中心、食品雜貨店(grocery stores)和教堂。Hanlon *et al.* (2000)亦提到回收站大部分設在食品雜貨店、購物中心、大眾設施等處，少部分設在拖帶式的居住車停車場、火車站、博物館、保齡球館等，以方便居民使用資源回收站，提升回收效率。

2.2 服務距離最小

Gonzalez-Torre and Adenso-Diaz (2005) 提到服務距離越短越可提高民眾使用回收站之意願，且可提高民眾使用回收站之頻率。Hanlon(2000)曾調查現有回收站的服務範圍，在57.5%公營、7.5%公私

合營、35%私營的回收站中，公營回收站有32.5%(佔全部比例)大於5哩，25%介於2~3哩，公私合營全部小於2哩，私營的則每站都不相同。Gershman *et al.*(1995)曾以地點特性(site characteristics)為其一因子評估美國和加拿大的回收站計劃，有關設置地點的因子有二，為行走距離和便利性，而便利性屬於預設回收站址的考量，是以設置地點民眾是否常前往。

以服務距離最小為目標的模式有很多，著名的p-median問題即為設置p個設施使得使用者可以得到最大的滿意度(accessibility)，也就是平均距離最小(Gerrard and Church, 1995)。最早由Dijkstra(1959)以演算法，求解最小服務距離之問題，Hakimi (1964)亦在設置電話轉接中心時所提出，之後應用和類似這個概念的文獻有很多Teitz and Bart, 1968; Narula *et al.*, 1977; Hodgson, 1978; Neebe, 1978; Love, 1988; ReVelle and Elzinga, 1989; Berman *et al.*, 1991; Church, 1990; Brimberg and Love, 1995; Gerrard and Church, 1995; Kao and Lin, 2002等，雖然用來解決不同的問題，但其原理是相同的，可見以服務距離最小為決策因子及目標式已經為大多數人所認同。

2.3 區域均衡性

一般設置公共設施時，須考量是否提供公平的服務給各區域的居民，施(2001)曾以空間分佈評估一區域醫療資源配置數量之問題，提到區域分佈均衡佳將可提供較佳服務及降低成本。劉等(2002)考量以空間公平性評估因子進行事業廢棄物處理廠的選址的評估，來探討初選廠址鄰近範圍內，整體公共設施的期望值與空間整體分佈是否均等，進一步了解初選廠址於空間設施分配的公平性。謝等(2000)以為公共設施計劃須重視並達成資源分配之空間公平性，並以仁德都市計劃區之公

共設施計畫進行案例探討，藉由此空間公平性評估，可進一步找出某些接受服務較差的弱勢地區，而提出解決方案。

Church(1990)也提到，政府機關在設置設施時，必須散佈在每個行政區中，每個居民都希望有一個在自己的區域內。Gerrard and Church(1995)明確的指出，當執行多區域的規劃時，必須留意區域平等(district equity)。例如，如果州及鄉政府要分配改善公園的基金給其中一區，其他區域會要求同樣的改善基金。換句話說，如果其中一區得到民眾喜愛的改善時，其他區域也會想得到。同樣地，如果一區得到令人討厭的設施(如焚化廠，監獄)，有些或所有其他的區域也應得到相同的對待，以免有不公平的現象。故規劃回收站址時應就其區域均衡性進行選擇，並以其評估選定的站址，進行分區與不分區之優劣比較。



2.4 分區模式

李(2000)提到區域分區，除可維護公共安全、環境品質並增進公共福利，且以適當人口密度分配公共設施，可維持高品質之服務狀況，並可降低公共服務成本。ReVelle and Elzinga (1989) 最主要是針對區域的行政區內欲設置固定數量的設施，提出一個最適化的配置。其分成兩階段來求解，先建立各分區的選址優選模式，然後選擇其一能改善服務距離最多(一種greedy algorithm)的方法來求解各分區站址數，但不一定所有問題都能求得最佳解。

Berman *et al.*, (1991) 針對分區問題，及分別以最小總距離及最大服務距離最小化為目標的優選模式提出一個求解方法，使用者自行決定距離限制的m-medi-center問題，換句話說，也就是使用者和設施最近距離不能超過某個給定距離的m-median問題。在Gerrard and Church

(1995)的文獻中，不僅提出可跨區的混合整數規劃模式ZOMP(zonal constraints with overlap for the median for the median problem)，並針對區域的最小設施設置數、區域的最大設施設置限制、允許需求點跨區、允許區域重疊，使得一個合適的設施位置可以屬於一個以上的區域等四個因子來比較上面三個分區模式。故本研究以是否分區作為考量因子，探討其對選址的影響。

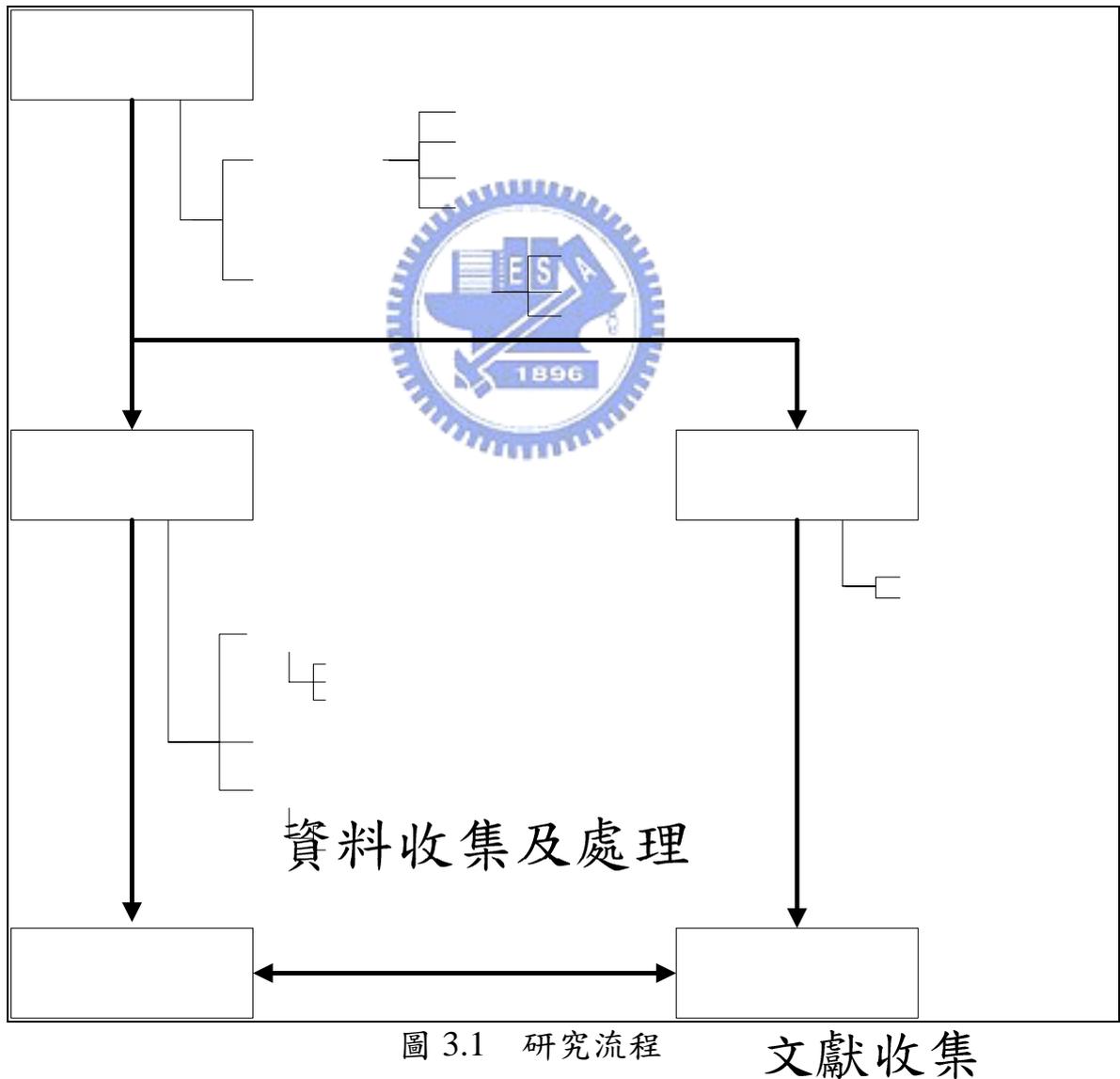


第三章、研究方法與流程

下面將依流程說明本研究較重要的工作項目，包括研究流程、資料收集及處理、模式建立等三個部分，分別進行說明。

3.1 研究流程

本研究流程如圖3.1所示，包括資料及相關文獻收集、模式建立、案例建立、案例分析及回收站優選等項目。



回收站
服務區
區域
分區

3.2 資料收集及處理

建立案例的第一步為收集資料，資料主要分成三類：

1. 相關文獻：收集了回收站設置、服務距離最小、區域均衡性、分區模式等相關文獻，此部份請參見第二章說明。
2. 案例區資料：包括案例區各里的邊界、戶數、道路座標、建築物位置、候選回收站站址等，此部份請參見4.2節資料編輯整理。
3. 相關工具：林務局所出版的五千分之一的台灣地區相片基本圖、戶外生活圖書公司所出版的八千分之一都會街道圖，及安裝在Linux RedHat 9.0作業系統上的CPLEX 8.0版(ILOG, 2004)，及ArcView 3.1版(ESRI, 2005)。

3.3 模式建立

針對資源回收站站址優選，本研究以區內居民到回收站之最大距離最小、滿足某服務率條件下總距離最小及分析回收站數與總距離之關係為目標，搭配不分區、分區不可跨區及分區可跨區等三種情況分析站址優選。以下說明各模式。

3.3.1 最大服務距離最小

為避免部分居民之服務距離過大，故本研究以最大服務距離最小化為目標，建立站址優選模式。以下將分別以分區可跨區及分區不可跨區說明所建立的模式，並於分區不可跨區模式中，說明以所有行政區最大服務距離總和最小化為目標之站址優選模式。

3.3.1.1 分區可跨區

本模式為分區可跨區，最大服務離最小化模式（簡稱為 CDX），若不考量各行政區本身回收率之績效，居民往往以便利性為主要考量，故此模式假設居民會選擇離自家最近的回收站投棄回收物，當別區之回收站較接近自家時，即選擇該站，而不選擇居住區之回收站。此模式如下列：

$$\text{Min} \quad d_{\max} + E \sum_i d_i \quad (1a)$$

Subject to

$$\sum_{j \in C_i} (D_{ij} y_{ij}) \leq d_i \quad \forall i \quad (1b)$$

$$\sum_{j \in C_i} y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1c)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall ij \quad (1d)$$

$$\sum_{j \in N_r} x_j = 1 \quad \forall r \quad (1e)$$

$$x_j = (0,1) \quad \forall j \quad (1f)$$

$$d_i < d_{\max} \quad \forall i \quad (1g)$$

其中， d_{\max} 代表最大服務距離； E 為一很小的常數； d_i 為住戶 i 至最近可服務它的回收站之距離； D_{ij} 為住戶 i 和候選回收站 j 之距離； y_{ij} 等於1時，表示住戶 i 被回收站 j 服務，若等於0，則否； x_j 等於1時，表示 j 點有設回收站，等於0則否； C_i 為住戶 i 在服務上限距離內可被服務之候選回收站之集合； N_r 為區域 r 中候選回收站之集合。

本模式欲使區域中最大服務距離最小，以 d_{\max} 為目標式，而目標式的第二項（ $E \sum d_i$ ），目的在使求解過程中，使總距離最小，但乘上一個適當的小常數， E ，讓目標能優先將使最大服務距離最小化，然後才求總距離最小化，使 y_{ij} 為0或1之整數解，不會產生不合理的分

數解情形。限制式(1b)用以決定住戶可接受的服務距離區域中，至最近回收站之服務距離。限制式(1c)表示任何一住戶，皆有一個回收站可服務它，藉由目標式第二項及限制式(1b)與(1c)，可決定服務第*i*點最近的回收站及最短距離 (d_i)。限制式(1d)表示點*j*設為回收站時，點*i*才可被點*j*的回收站服務。由於目標式之驅力及此限制式，使 y_{ij} 只可能為0或1，故於求解過程中，不需要將 y_{ij} 設定為整數變數，如此可減少求解難度及時間(Kao and Lin,2002)。限制式(1e)限定每個行政區中所設置回收站數。限制式(1f)定義 x_j 為0或1整數變數。故於限制式(1g)中，令 d_{max} 大於所有 d_i ，再結合目標式最小化的趨力，可用以決定區域中最大之服務距離。

3.3.1.2 分區不可跨區

本模式為分區不可跨區，最大服務離最小化模式（簡稱為 DDX），此模式假設所有居民基於提升其居住區域之回收站績效，而不到其他行政區投棄回收物，故與第一個模式差異之處，最大服務距離為所有需求點到所屬行政區中最近回收站的距離中的最大一個，並以其最小為目標。此模式如下：

$$\text{Min} \quad d_{\max} + E \sum_i d_i \quad (2a)$$

Subject to

$$\sum_{j \in M_i \cap C_i} (D_{ij} y_{ij}) \leq d_i \quad \forall i \quad (2b)$$

$$\sum_{j \in M_i \cap C_i} y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2c)$$

同式(1d) (1e) (1f) (1g)

其中， M_i 為與住戶 i 同一區的候選回收站之集合，式(2b)(2c)和(1b)(1c)的不同之處在於住戶和回收點必須在同一區域內。其餘的限制式與前一模式相同。

3.3.1.3 分區不可跨區，所有區域最大距離總和最小模式

本模式為分區不可跨區，所有區域最大服務距離總和最小化模式（簡稱為 DTDX），此模式類似上一模式，但各行政區的最大服務距離分別決定之，因各行政區之最大服務距離不相同，可能會有差異很大之情形，故與模式 DDX 相異之處為此模式以全部行政區各自區域中最大服務距離之總和最小為目標，以求取每個行政區最小之最大服務距離，並非只考量一個全區最小的最大服務距離，如此可避免少數行政區因與他區之最大服務距離差異過大，而造成回收站優選不適當。此模式數學式如下列：

$$\text{Min} \quad \sum_k d_{\max}^k + E \sum_i d_i \quad (3a)$$

Subject to

$$d_i < d_{\max}^k \quad \forall i, k \quad (3g)$$

同式(2b) (2c) (1d) (1e) (1f)

其中， d_{\max}^k 為某一行政區(k)中之最大服務距離。限制式(3g)用以確定各行政區中每一需求點 i 與最近可服務其回收站之最大服務距離。並由目標式決定各行政區各自最大服務距離之總和最小。其餘限制式同前一模式。

3.3.2 服務率最大

本模式為不分區，服務率最大化模式（簡稱為 NS），為分析回收站之收集效率，本研究以服務率作為考量因子，服務率之定義為可接受距離內被服務民眾佔全體民眾比例。本模式亦將全部行政區視為一整體區域，即打破行政區界線，期可將回收站設置於多數居民可接受之距離內，以服務最多數之民眾，提升服務率。此模式如下：

$$Max \quad s - E \sum_i d_i + F \sum_i \sum_j p_{ij} \quad (4a)$$

Subject to

$$\sum_{j \in J} x_j = R \quad (4e)$$

$$p_{ij} \leq y_{ij} \quad \forall i, j \quad (4g)$$

$$p_{ij} D_{exp} + (1 - p_{ij}) D_{ij} > D_{ij} y_{ij} \quad \forall i, j \quad (4h)$$

$$\sum_i \sum_{j \in C_i} p_{ij} H_i > s * H_{all} \quad (4i)$$

同式(1b) (1c) (1d) (1f)

其中， s 表服務率； H_i 為家戶數； R 為欲設置回收站總數； J 為候選回收站之集合； p_{ij} 等於 1 表被回收站 j 服務之家戶 i ，其服務距離不超過民眾可接受之最大服務距離（ D_{exp} ），若等於 0 則否； H_i 為需求點 i 的家戶數； H_{all} 為整個案例總戶數； E 及 F 皆為一很小常數。

目標式(4a)中以服務率最大為主要考量，於後項中總距離最小及 p_{ij} 總和，其用意亦為作為驅力，避免經求解後， y_{ij} 及 p_{ij} 出現非 0、1 之非整數解之結果。限制式(4e)將欲設置之回收站數設為定數，經限制式(4a)(1b)(1c)運算後， y_{ij} 之值可以驅使為 0 或 1 之整數。由於 p_{ij} 等於 1 成立之先決條件為 y_{ij} 等於 1，故以限制式（4g）限制 y_{ij} 大於等於 p_{ij} ，

另外因 y_{ij} 作為 p_{ij} 之驅力，加上目標式，則 p_{ij} 之值將成為 0 或 1 之整數。限制式(4h)中，當 y_{ij} 為 1 且 p_{ij} 亦為 1 時，表示某 i 點住戶，被回收站 j 服務之距離不超過 D_{exp} ，即代表該 i 點住戶於服務範圍中，符合服務率，而當 y_{ij} 等於 1， D_{exp} 小於 D_{ij} 時，則 p_{ij} 等於 0。限制式(4i)說明所選擇之回收站必須服務居民比例大於或等於決策者所預定之服務率，以達到回收站設置之功用。其餘限制式同模式CDX。

3.3.3 回收站數探討

3.3.3.1 不分區，特定距離內回收站數選址模式

本模式為不分區，回收站數優選模式（簡稱為 NC），此模式大部分限制式和上個模式相同，亦以服務率作為限制因子，主要相異之處為本模式以回收站數量最小化為目標，進行站址優選，如此可輔助環保單位在設置回收站時，不僅可使回收站設於大部分居民可接受之距離內，亦可以最少資源，達到回收之最大效益。此模式如下：

$$\text{Min} \quad r + E \sum_i d_i - F \sum_i \sum_j p_{ij} \quad (5a)$$

Subject to

$$\sum_{j \in J} x_j = r \quad (5e)$$

$$\sum_i \sum_{j \in C_i} p_{ij} H_i > S * H_{all} \quad (5i)$$

同式(1b) (1c) (1d) (1f) (4g) (4h)

其中， S 為服務率，因本模式主要探討回收站站數，故將限制式（5i）之服務率設為常數。目標式(5a)以回收站數最小為目標，第二項如同之前式(4a)，目的為避免 y_{ij} 產生非 0 或 1 之非整數結果，而第三項類式前一項之功用，主要是避免 p_{ij} 產生非 0 或 1 之非整數結果。限制式(5e)將欲選之回收站數設為變數，作為考量因子，並由目標式求出最

佳解。其餘限制式同前一模式。

3.3.3.2 不分區，站數及平均距離之模式分析

本模式為不分區，總服務離最小化模式(簡稱為 NTHD)，溫(2002)於其不分區模式中，雖提出站數和總服務距離(或平均距離)之模式。但並未詳細分析平均距離和回收站數間的關係，本研究因而進一步分析不同站數限制下，所能得到的最佳平均距離，以期了解站數與平均距離間的折衷關係，以利於評選方案之優劣點。此模式如下列：

$$\text{Min} \quad \sum_i H_i d_i \quad (6a)$$

Subject to

$$\sum_{j \in J} x_j < R \quad (6e)$$

同式(1b) (1c) (1d) (1f)

目標式(6a)為求取最小總服務距離，其餘限制式皆與模式 CDX 與模式 NS 部分限制式相同。平均距離可由最小總服務距離除以總戶數即可求得。

3.4 符號說明

i	需求點(回收物產源點，家戶)
j	候選回收點
r	模式選定回收點數
J	候選回收點的集合
d_i	需求點 i 與最近一個可服務它的回收站之距離
d_{max}	所有 i 點和最近可服務它的回收站中最大的服務距離
y_{ij}	=1，表示需求點 i 被回收站 j 服務 =0，則否
x_j	=1，表示 j 點有設回收站 =0，則否
p_{ij}	等於1表 j 被服務的 i 點離 j 不超過 D_{exp}
H_i	需求點 i 的家戶數
D_{ij}	需求點 i 和候選回收站 j 之間的距離
N_r	區域 r 中候選回收站的集合
M_i	與需求點 i 同一區的候選回收站的集合
O_r	區域 r 中需求點的集合
C_i	為需求點 i 在服務上限距離內可被服務之候選回收站集合
H_{all}	整個案例的總戶數
R	欲設置回收站的總數
D_{exp}	使用者決定的回收站和家戶之間的最大距離(不分區)
$E、F$	常數
d_{max}^k	第 k 里的需求點 i 與最近一個可服務它的最大回收距離
S	服務率

3.5 其他模式

本研究亦曾探討於不分區情形下，最大服務距離最小化模式及分區可跨區，所有區域最大服務距離總和最小模式，但因求解效率不佳，求解時間過長，本研究放於附錄中，以求進一步改進。



第四章、案例研究與結果討論

4.1 案例區背景簡介

本研究採用溫(2002)所建立的案例示範應用上述各回收站優選模式，以新竹市東區15個和北區1個共16個里進行案例研究，圖4.1所示為各里位置示意圖。案例區目前共有18,008戶，人口58,518人，各佔新竹市的15.4%及15.6%(東區、北區、香山區戶政所，94年)，面積21.18平方公里，約佔新竹市20.8%。除了部分社區或鄰里有設固定回收點(潔境，88年)進行資源回收工作，大部份地區約每週兩次以資源回收車尾隨垃圾車，沿街收集的方式進行收集(新竹市環保局，94年)。基本上此種方式清運成本頗高，且只能在固定時間回收，故有必要評估設置資源回收站方案之效益。



4.2 資料編輯整理

案例區資料先以ArcView 3.1版(ESRI, 2005)由GIS資料取得里邊界和道路座標，並搭配照片圖(林務局，83年)及都會街道圖(馬路灣，90年)，將實際建築物的位置點畫出來，作為需求點，並以人工判斷將其分為3、8、16戶三大類。候選回收站址為案例區中之學校、寺廟、停車場或大小足以設置回收站的現有空地，各需求點及候選點位置如圖4.1。但若回收站的站址靠近邊界的位置且附近人口稀少時，即表示明顯無法服務本區大部分民眾情形時，則不列入。

整個案例區共有需求點2437點、候選回收站址253個，為了避免回收服務距離相同時會造成模式求解時困擾(y_{ij} 可能不是0或1)，先確認每一需求點到回收站沒有二個以上相同的距離。服務距離暫以兩點間連線距離計算，雖然與實際道路距離有所差異，但相信差異不大。

4.3 結果與討論

4.3.1 服務距離最小化

溫 (2002) 曾以總服務距離最小為目標建立之資源回收站優選模式，並以分區不可跨區、分區可跨區及不分區，以下分別簡稱為 DTHD*、CTHD*、NTHD*，加註星號以利於與本研究所採用模式區別。其結果分別顯示於圖 4.2 及圖 4.3。於溫 (2002) 之優選結果中，發現優選回收站均位於人口較密集之區域，可能造成部分居住於人口稀疏之居民無法便利使用回收站，而造成不公平之問題。表 4.1 為本研究和溫 (2002) 部分模式於相同回收站數 (16 個) 下之服務率、平均服務距離及最大服務距離之比較。於分區不可跨區模式中，DDX 及 DTDX 皆以最大服務距離最小為目標，DTHD* 模式是以總服務距離最小為目標，由表 4.1 可發現，雖然模式 DTHD* 之平均服務距離比模式 DDX 和 DTDX 短，但模式 DDX 和 DTDX 之最大服務距離及服務率皆比模式 DTHD* 佳，較可照顧居住於人口稀疏區域之居民，縮短最大服務距離，並增加有效距離內之民眾比例，提高回收成效。

比較圖 4.2 所顯示的 DDX 和 DTDX 結果，可發現兩模式有 9 個回收站優選位置相同，位置差異較大的為里 13，里 13 中 DDX 之最大服務距離為 1,289 公尺，DTDX 為 1,693 公尺，造成此現象之因素主要是因為里 13 之面積較狹長，且人口分佈較不均所致，且由圖 4.2 可看出，DDX 優選回收站較接近各里之人口分佈之中心，由表 4.1 亦可發現，DTDX 之各里最大服務距離總和要比模式 DDX 佳，較可服務居住於人口稀疏地區之居民，降低服務空間上之差異。

由圖 4.2 所示結果，可發現由於分區不可跨區假設居民只使用所屬里的回收站，導致居民雖然離隔鄰里回收站較近，但必須行走較遠之距離至本里的回收站，例如里 13 西側之居民距里 15 回收站之較

近，但距該里之回收站較遠，故考量提升總體回收效率，應考量使居民可到距離最接近之回收站。本研究依據溫(2002)所提出之分區可跨區情形，進一步探討站址優選。於分區可跨區情形下，因本模式以最大服務距離最小為目標，由表 4.1 可看出，CDX 之最大服務距離要比 CTHD* 模式短，且由圖 4.3，模式 CDX 及 CTHD* 之優選回收站分佈圖，亦可發現，下面三個較大行政區，兩個模式所優選之回收站址位置差異較大。因模式 CTHD* 以總服務距離最小為目標，故其回收站位置落於人口密集之里 16 東方，如此將使里 14 西方居民之服務距離增加。而模式 CDX 之優選結果，其區域均衡性較佳，在里 16 東方及里 14 西方設置回收站，可以避免部分居民服務距離遠大於其他居民，故 CDX 之最大服務距離優於 CTHD*。由圖 4.3 亦可發現，於兩模式中皆有許多回收站傾向位於行政區邊界之情形，而並非位於各區中人口最密集之處。此乃因該模式限定每一行政區中必須設一回收站，但居民可選擇離自家最近之回收站投擲，不需考慮回收站是否位於本區中，故回收站站址之優選會受鄰近行政區需求點之牽引力影響，而使回收站站址偏向各區邊界。

本研究亦探討分區不可跨區情形下，各行政區優選回收站分佈於之位置與各區域內家戶分佈之中心與重心之關係。其中，各行政區家戶中心及重心之計算方式如下，

$$\begin{aligned}
 \text{中心公式} \quad (L_c, M_c) &= \left(\frac{\sum_{i \in O_r} L_i}{A}, \frac{\sum_{i \in O_r} M_i}{A} \right) \\
 \text{重心公式} \quad (L_G, M_G) &= \left(\frac{\sum_{i \in O_r} H_i L_i}{H_{all}}, \frac{\sum_{i \in O_r} H_i M_i}{H_{all}} \right)
 \end{aligned}$$

其中， L_C 為中心的經度座標； M_C 為中心的緯度座標； O_r 為區域 r 中需求點之集合； A 為區域 r 中需求點的總數； L_i 為需求點 i 之經度座標； M_i 為需求點 i 之緯度座標； L_G 為重心的經度座標； M_G 為重心的緯度座標； H_i 為需求點 i 之家戶； H_{all} 為行政區家戶總數。中心是以各需求點位置平均所求出；重心則於需求點中，加入居民戶數，考量居住密集之情形。圖 4.4 及 4.5 分別為模式DDX和模式DTDx之結果，由圖中皆可發現優選回收站多數較靠近各行政區之中心，此結果可避免部分居住於人口稀少地區居民因距離過遠，而無法便利使用回收站，達到擬定此模式之目的。圖 4.6 為溫（2002）分區不可跨區，總服務距離最小模式之結果，可發現所優選出之回收站有較接近各行政區之重心處，原因為因溫（2002）以總距離最小為目標，有納入戶數之考量，故會有偏向重心的現象。

不分區模式中，模式 NS 以最大服務率最大為目標，其於表 4.1 中之服務率結果，略優於模式 NC 及 NTHD*，且由圖 4.7 可發現模式 NTHD*之優選回收站多集中於上方 13 個里，而下方 3 個面積較大行政區部分居民之服務距離有偏大之現象；而模式 NS 除服務率較佳之外，回收站分佈亦較均衡，且較能服務偏遠地區之居民，模式 NS 最大服務距離為 944 亦優於模式 NC 及 NTHD*之 1,145 公尺。而模式 NC 以最少回收站數為目標，所得結果在設置 15 個回收站下之服務率較模式 NTHD*16 個回收站佳，而和模式 NS 相差不多。

綜合比較三種情形，可發現分區不可跨區模式之服務率較低且平均服務距離及最大服務距離有較高之趨勢；分區可跨區模式，其服務率皆接近 70%，平均服務距離較分區不可跨區低；不分區模式之服務率皆接近 80%，平均距離亦為三種情形中最短。且由表中可發現，雖於分區可跨區及分區不可跨區模式中，皆以最大服務距離最小化為

目標，但最小之最大服務距離出現於不分區模式，故分區會增加最大服務距離。

4.3.2 回收站數與服務距離及服務率之分析

本研究以一特定距離 ($D_{exp}=350$ 公尺) 內可服務民眾之比率代表服務率，並以服務率最大為目標，分析不分區情況下，服務率和回收站數之關係。圖 4.8 為回收站數量與服務率的關係，可發現服務率與回收站數成正比關係，但隨著回收站數增加，服務率上升之趨勢漸減，若要提升更高之服務率，所需回收站數必須更多，成本亦因而增加。

而圖 4.9 為模式 NC 之回收站站址優選結果，圖中以回收站為圓心之圓代表半徑 350 公尺之服務範圍。當服務率 76%，所優選之回收站數為 15 個；但比較模式 NTHD*的結果，模式 NTHD*服務率為 76%，需要 16 個回收站。因模式 NC 以最小回收站數為目標，故可以較少回收站數，達到與模式 NTHD*相同服務率，如此可有效調整設置之回收站數，並滿足所需之服務率，提高回收站成本效益。

本研究應用溫 (2002) 不分區模式進一步探討站數和平均服務距離之關係。其結果如圖 4.10 所示，當站數較少時，平均距離的變動情況較大，隨著站數持續增加，平均距離之下降趨勢漸緩，例如 4 個回收站時之平均距離為 600 公尺，而平均距離為 400 公尺時僅需時 7 個站，但平均距離要降到 200 公尺，則需超過 16 個回收站。

表 4.1 各模式簡稱對照表

模式	簡稱
分區不可跨區，最大服務距離最小模式	DDX
分區不可跨區，所有區域最大服務距離總和最小模式	DTDIX
分區不可跨區，總服務距離最小模式	DTHD*
分區可跨區，最大服務距離最小模式	CDX
分區可跨區，總服務距離最小模式	CTHD*
不分區，服務率最大模式	NS
不分區，服務站數最少模式	NC
不分區，總服務距離最小模式	NTHD*

*溫 (2002)

表 4.2 模式結果比較表

模式	服務率	站數	平均服務 距離 (M)	最大服務 距離 (M)	最大服務 距離總和 (M)
DDX	53	16	389	1,716	9,851
DTDIX	52	16	406	1,716	9,374
DTHD*	49	16	365	2,021	10,325
CDX	63	16	309	1,094	---
CTHD*	74	16	271	1,720	---
NS	79	16	241	944	---
NC	76	15	250	1,145	---
NTHD*	76	16	237	1,145	---

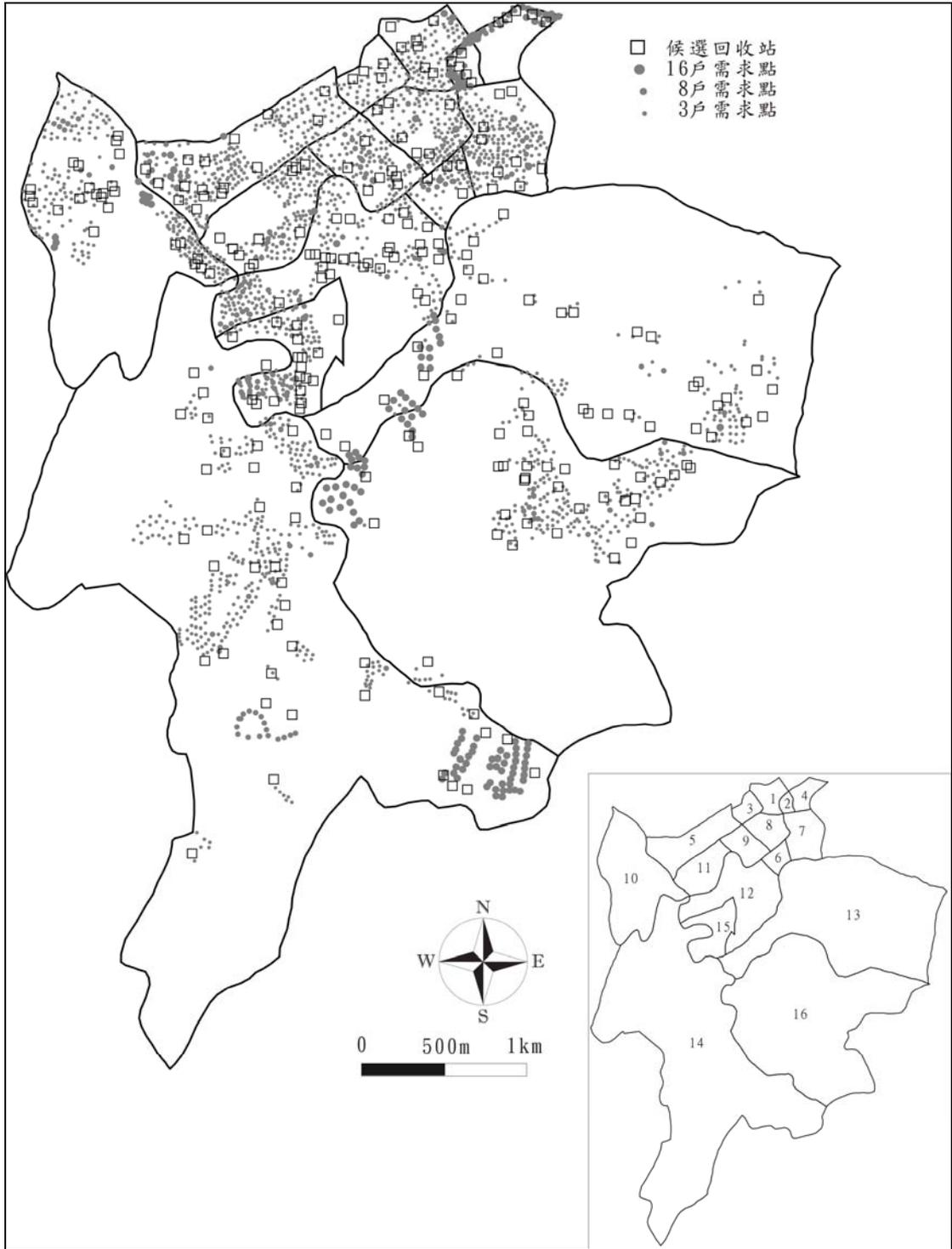


圖 4.1 案例區 16 個里、候選回收站及需求點位置圖

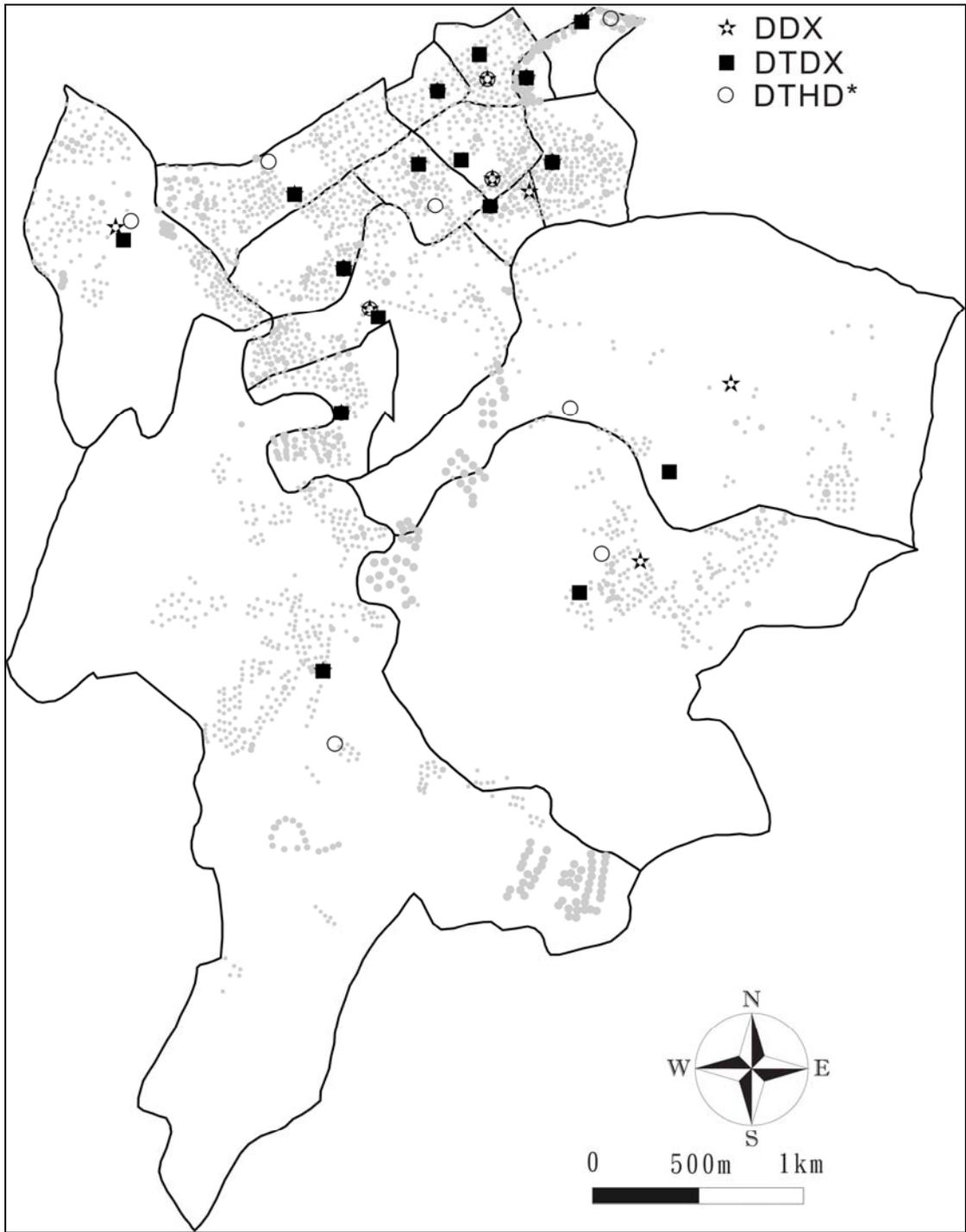


圖 4.2 分區不可跨區模式結果比較圖

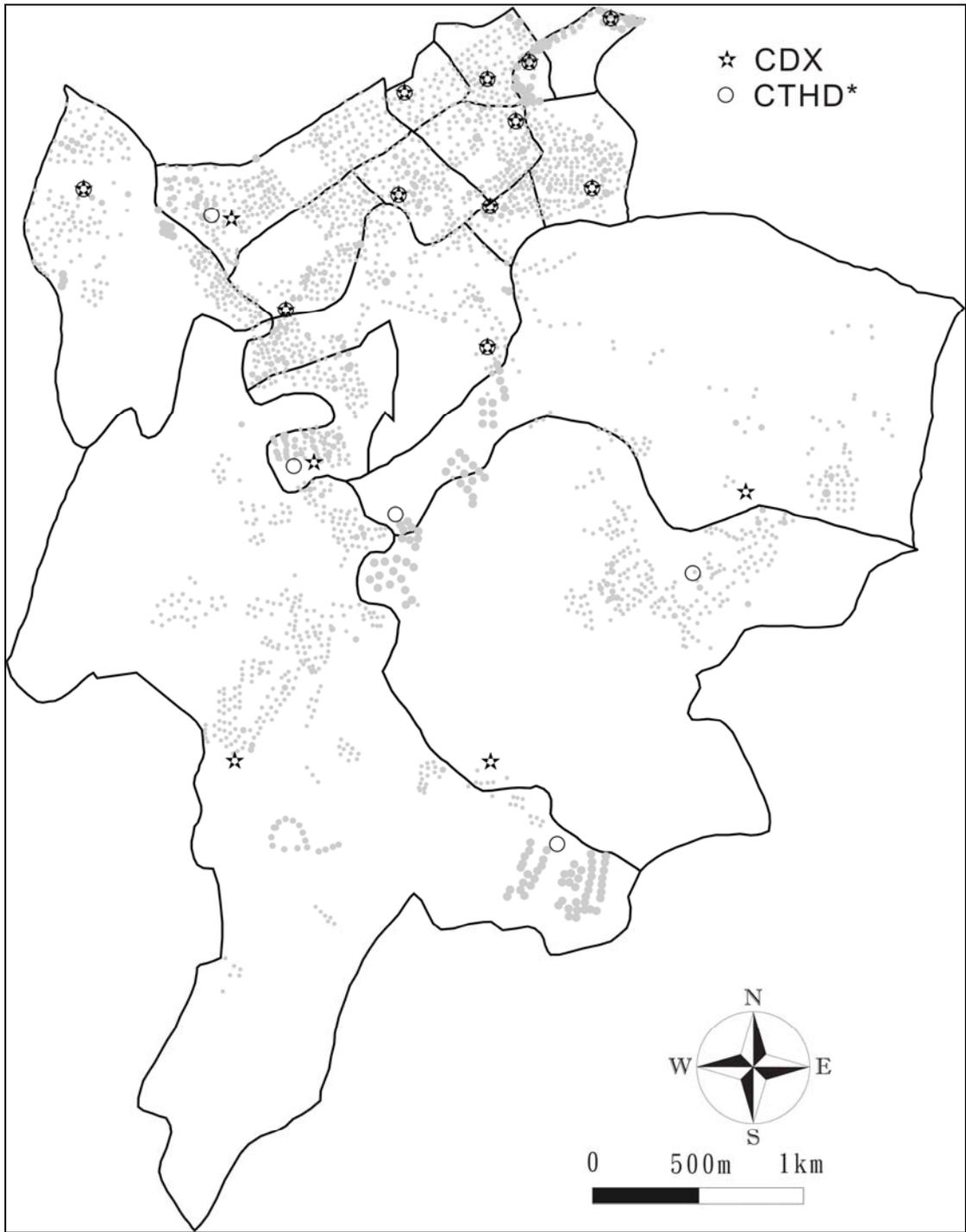


圖 4.3 分區可跨區模式結果比較圖

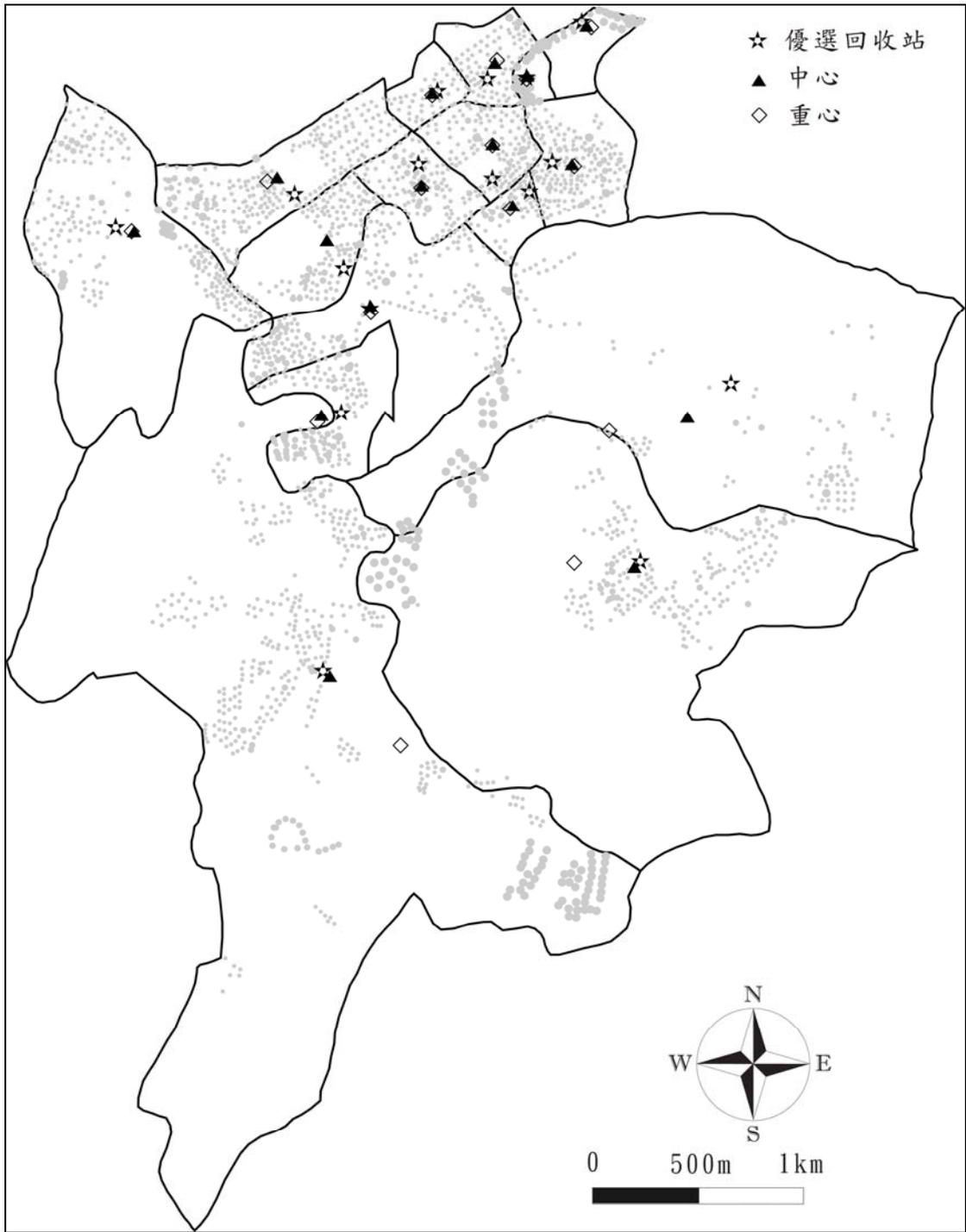


圖 4.4 DDX 模式優選位置圖

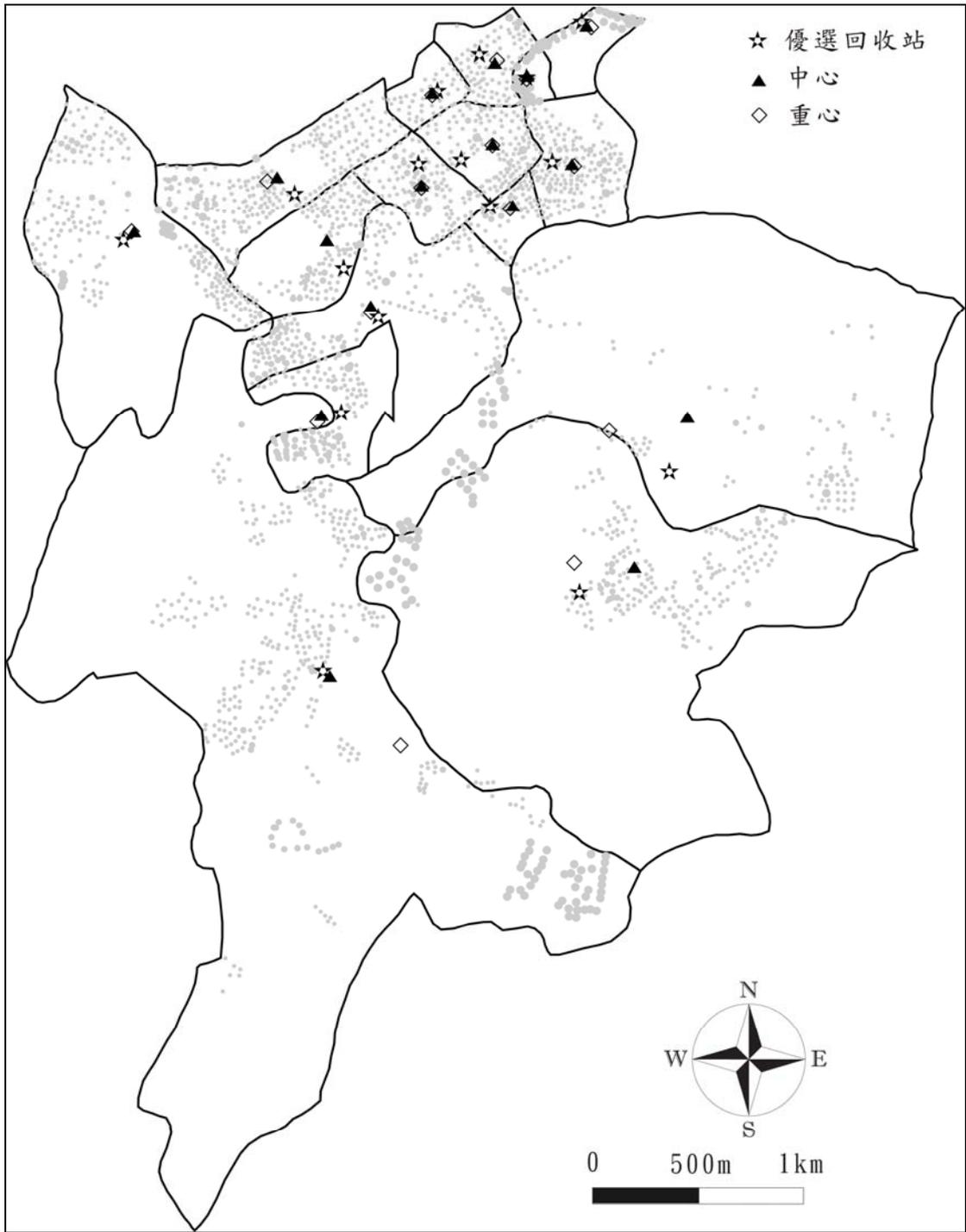


圖 4.5 DTDX 模式優選位置圖

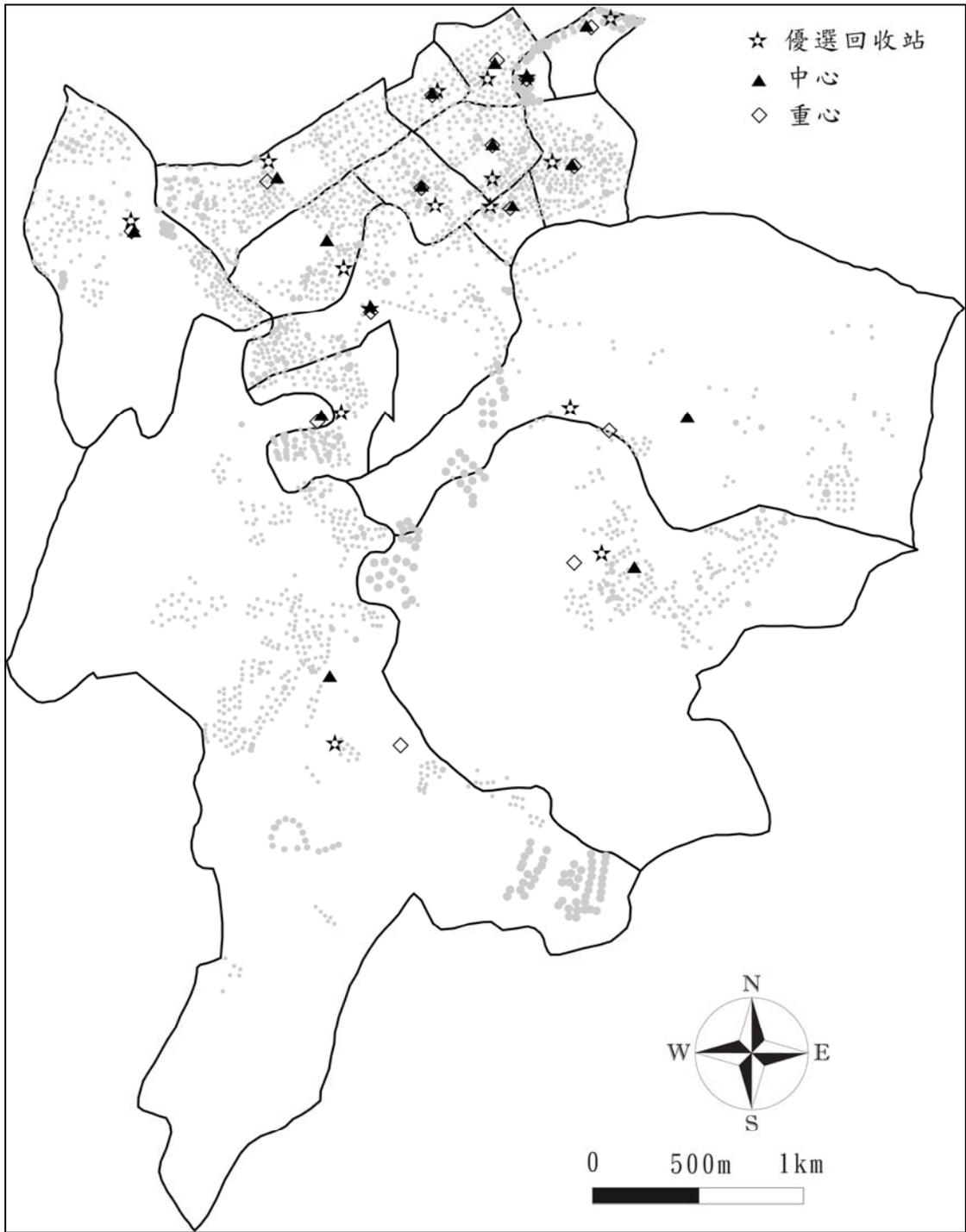


圖 4.6 DTHD*模式優選位置圖

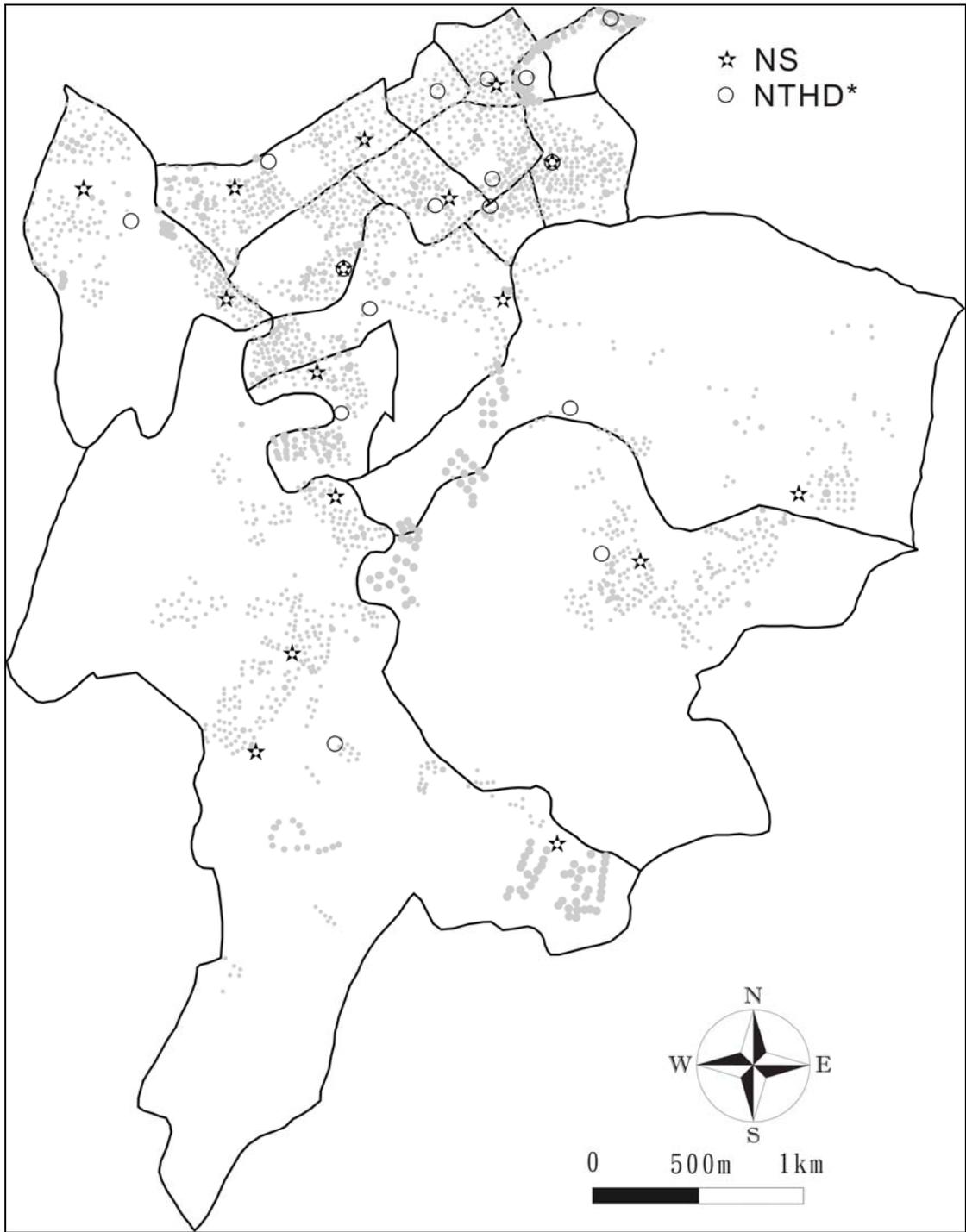


圖 4.7 不分區模式結果比較圖

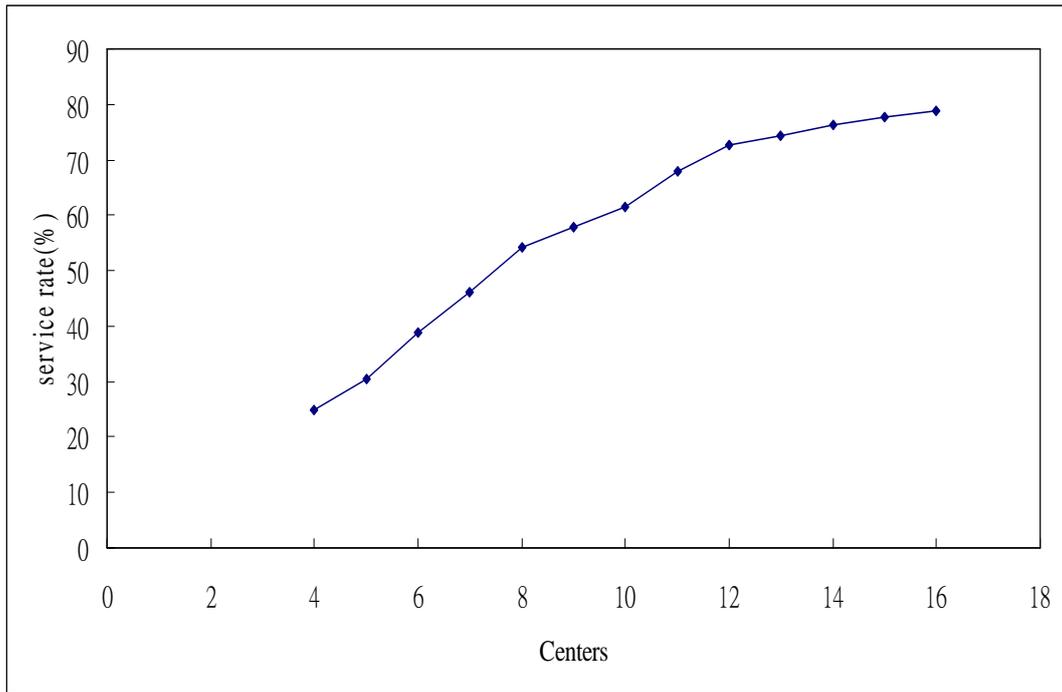


圖 4.8 站數與服務率分析圖





圖 4.9 NC 模式優選位置圖

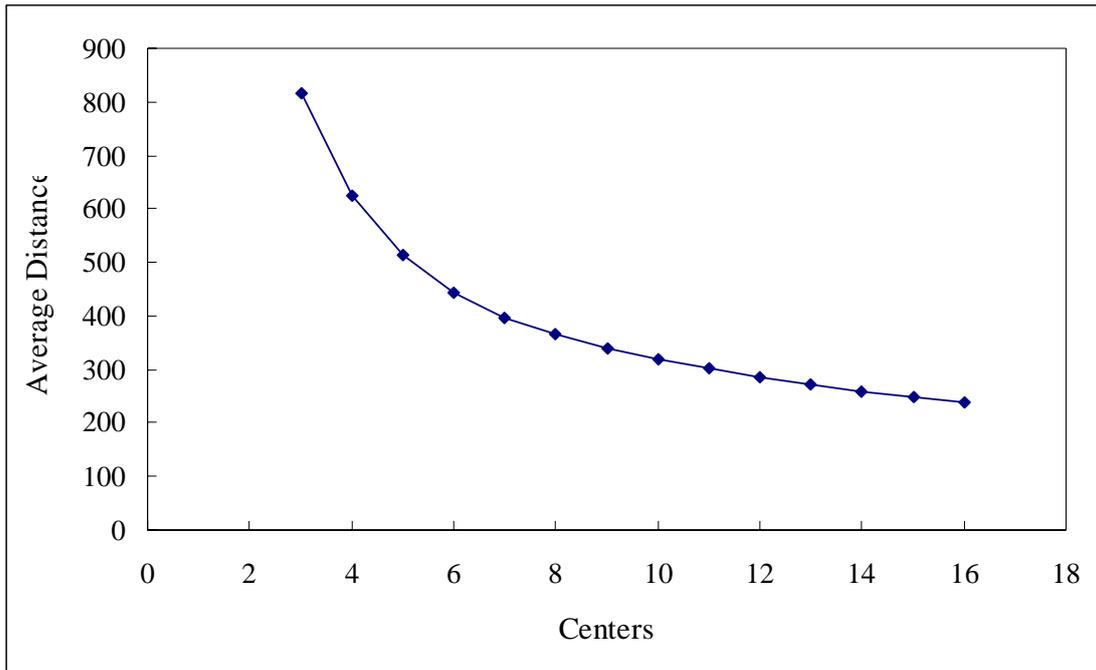


圖 4.10 不分區，回收站數與平均距離關係圖



第五章、結論與建議

為提升資源回收工作效率及效益，設置資源回收站為可行之方案，本研究依據最大服務距離最小、服務率最大及最少回收站數與服務距離之關係等為目標，配合不分區、分區不可跨區及分區可跨區三種情形，提出分區可跨區最大服務距離最小化、分區不可跨區最大服務距離最小化、分區不可跨區所有區域最大服務距離總和最小化、不分區服務率最大及不分區在特定距離內回收站數優選等5個資源回收站優選模式，並分析溫（2002）不分區模式中，站數和服務距離之關係。提供決策者使用適當模式，優選回收站址。本章討論所得到幾點結論與建議。

5.1 結論

1. 分區不可跨區情形中，DDX和DTHX兩模式之平均距離相差不多，但DTHX之最大服務距離總和較優於DDX，可縮短偏遠地區居民之服務距離過遠問題。
2. 分區不可跨區及分區可跨區情況下，本研究皆以最大服務距離最小化為目標，優選回收站之最大服務距離皆較溫（2002）佳，較可照顧居住於人口稀疏地區之居民，降低服務空間上之差異。
3. 於不分區情形下，以最大服務率為目標，除服務率較佳之外，回收站分佈亦較均衡，亦較能服務偏遠地區之居民。
4. 於分區不可跨區、分區可跨區及不分區三種情形中，不分區站址優選之結果，可獲得較佳服務率；而分區不可跨區之服務率及平均服務率皆較小，可發現分區會影響服務率且增加服務距離。

5. 由模式NS結果可發現，回收站數和服務率成正比關係，但隨著回收站數增加，服務率上升趨勢漸減，表示若要提高更高服務率，所需回收站數必須更多，成本亦會增加。
6. 模式NC是以在固定服務率下，回收站數最小為目標，由結果可發現，服務率76%只需要15個回收站，較模式NTHD*於相同服務率下，回收站數較少，回收站之成本效益較高。
7. 回收站數可影響服務距離及成本效益，站數增加可減少平均服務距離，但隨回收站數增多時，平均服務距離減少之趨勢將漸減。

5.2 建議

1. 本研究考量服務距離、服務率及站數等因子為優選回收站之目標，後續研究可以資源回收量及對環境之衝擊力為另外的因子，評估資源回收站效率。
2. 國內便利商店方便頗為普遍，且目前有輔助進行部分物品資源回收工作。於後續之研究中，可考量以便利商店作為需求點，進行資源回收站址之優選，在適當位置設立回收站，除可提高民眾之便利性外，尚可以便利商店作為回收物之轉運站。
3. 本研究只單純考量回收站數和成本之關係，並無成本方面的資料，於後續研究中，亦可以成本效益作為考量因子，分析現有的成本資料，考量是否增加設置回收站數之可行性。
4. 因模式NS及NC目標式之常數調整會影響求解結果，於後續研究可發展其他適當限制式。於未來電腦運算速度較快時，亦可考量將 y_{ij} 或 p_{ij} 設為整數進行求解，以避免常數之影響。