

第二章 文獻回顧

本研究依據構建「城際複合物流運輸鐵路轉運中心最適區位」模式之主要研究目的所需，分別針對「設施區位問題」、「轉運中心區位問題」、「軸輻式網路設計」、「運輸外部成本內部化」、「權重法」等五大部分進行相關文獻之回顧與研究，之後則綜整完成綜合評析。

2.1 設施區位問題

設施區位模式常被應用於例如物流、運輸及電信等領域，而所謂設施區位問題 (Facility Location Problem, FLP)，則係在一些已知候選位址中選擇興建/改善設施之最佳區位，以便在能滿足顧客需求前提下達成總成本最小之目標。其中總成本包括設施設置之固定成本及將顧客指派至設施之變動成本。有關 FLP 之整體回顧文獻可參考 Aikens (1985), Brandeau and Chiu (1989), Sridharan (1995), Klose and Drexl (2005) 等篇。在 FLP 中最簡單的形式為單一貨種、無容量限制模式，其數學式列式如下：

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i y_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i x_{ij} = 1 \quad j \in J, \quad (2)$$

$$y_i - x_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad i \in I. \quad (5)$$

其中 x_{ij} = 由設施 i 運送至顧客 j 之比例,

y_i = 若設施 i 設立，其值為 1；否則其值為 0,

c_{ij} = 總運送成本,

f_i = 設施 i 之固定成本,

I, J = 分表候選設施區位及顧客所在地區集合。

當候選設施均有其容量限制時，則前述 FLP 便成為具有容量限制設施區位問題 (Capacitated Facility Location Problem, CFLP)，有關文獻如 Mazzola and Neebe(1999)，其數學式列式如下：

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i y_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j D_j x_{ij} \leq S_i y_i \quad i \in I, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad j \in J, \quad (3)$$

$$y_i - x_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, \quad (5)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad i \in I. \quad (6)$$

其中 x_{ij} = 由設施 i 運送至顧客 j 之比例,

y_i = 若設施 i 設立, 其值為 1; 否則其值為 0,

c_{ij} = 總運送成本,

f_i = 設施 i 之固定成本,

D_j = 顧客 j 之需求,

S_i = 設施 i 之容量,

I, J = 分表候選設施區位及顧客所在地區集合。

若再加上每一顧客僅能由單一設施提供所需物品之限制時, 則此一特殊 FLP 則稱為單一供給來源具有容量限制設施區位問題(Single-Source Capacitated Facility Location Problem, SSCFLP), SSCFLP 之相關研究文獻有 Barcelo and Casanovas (1984), Sridharan (1993), Klincewicz and Luss (1986), Pirkul (1987), Beasley (1993), Holmberg et al. (1999), 及 Rönnqvist et al. (1999) 等, 其數學式列式如下:

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i y_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j D_j x_{ij} \leq S_i y_i \quad i \in I, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad j \in J, \quad (3)$$

$$y_i - x_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in I, j \in J, \quad (5)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad i \in I. \quad (6)$$

其中 x_{ij} = 若顧客 j 之需求由設施 i 提供，其值為 1；否則其值為 0，

y_i = 若設施 i 設立，其值為 1；否則其值為 0，

c_{ij} = 總運送成本，

f_i = 設施 i 之固定成本，

D_j = 顧客 j 之需求，

S_i = 設施 i 之容量，

I, J = 分表候選設施區位及顧客所在地區集合。

Pirkul and Jayaraman (1998), Taniguchi et al. (1999), Tragantalerngsak et al. (2000), Klose (2000) 將單一階層 (Single-Echelon) SSCFLP 作進一步之擴展，使成為兩階層 SSCFLP (Two-echelon Single-source Capacitated Facility Location Problem, TSCFLP)，所謂兩階層之運送過程係指，物品由第一階層設施 (例如工廠)，經由第二階層設施 (例如倉庫) 再運送至顧客手中。而 TSCFLP 模式主要決策變數為每一階層設施之數目與區位，以及不同階層設施間、第二階層設施與顧客間之物品流量，其數學式列式如下：

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} x_{ijk} + \sum_i f_{ik} y_{ik} + \sum_k g_k z_k \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j D_j x_{ijk} \leq S_i y_i \quad \forall i \in I, k \in K, \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in J, \quad (3)$$

$$\sum_k y_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in I, \quad (4)$$

$$y_{ik} - x_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, \quad (5)$$

$$z_k - y_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, k \in K, \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, \quad (7)$$

$$y_{ik}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, k \in K. \quad (8)$$

其中 x_{ijk} = 若顧客 j 之需求由第一階層設施 i 經第二階層 k 設施所提

供，其值為 1；否則其值為 0，

y_{ik} = 若設施 i 設立，且由設施 k 提供服務其值為 1；否則其值為 0，

z_k = 若設施 k 設立，其值為 1；否則其值為 0，

c_{ijk} = 由設施 i 經設施 k 將需求運送至顧客 j 之成本，

f_{ik} = 設施 i 至設施 k 之運送成本，

g_k = 設施 k 之設置成本，

D_j = 顧客 j 之需求，

S_i = 設施 i 之容量，

I, J, K = 分表第一階層候選設施區位、顧客所在地區集合、第二階層候選設施區位。

另 Elson (1972) 則提出多物種 (Multicommodity) 設施區位模式，該模式允許管理者在不同服務水準要求下，同時考量設施新建、擴充或關閉等替選方案。Geoffrin and Graves (1974) 提出之多物種設施區位模式，係將工廠至倉庫再至顧客處之運輸成本予以整合，以直接決定由工廠至倉庫再至顧客間，整體運送成本最少之最適產品流量配送，其數學式列式如下：

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l c_{ijkl} x_{ijkl} + v_k \sum_j \sum_k \sum_l D_{jl} y_{jk} + \sum_k f_k z_k \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j \sum_k x_{ijkl} \leq S_{il} \quad \forall i \in I, l \in L, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ijkl} = D_{jl} y_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K, l \in L, \quad (3)$$

$$\sum_k y_{jk} = 1 \quad \forall j \in J, \quad (4)$$

$$a_k z_k \leq \sum_j \sum_l D_{jl} y_{jk} \leq b_k z_k \quad \forall i \in I, k \in K, \quad (5)$$

$$y_{jk} - x_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, \quad (6)$$

$$z_k - y_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K, \quad (7)$$

$$x_{ijkl} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, \quad (8)$$

$$y_{jk}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, k \in K. \quad (9)$$

其中 x_{ijkl} = 若顧客 j 之貨種 l 需求由第一階層設施 i 經第二階層 k 設施所提供，其值為 1；否則其值為 0，

y_{jk} = 若設施 i 設立，且由設施 k 提供服務其值為 1；否則其值為 0，

z_k = 若設施 k 設立，其值為 1；否則其值為 0，

c_{ijkl} = 由設施 i 經設施 k 將貨種 l 運送至顧客 j 之成本，

f_k = 設施 k 之固定成本，

v_k = 設施 k 之單位變動成本，

D_{jl} = 顧客 j 對貨種 l 之需求量，

S_{il} = 設施 i 生產貨種 l 之最大供給量，

a_k, b_k = 設施 k 之最小與最大產量，

I, J, K, L = 分表第一階層候選設施區位、顧客所在地區集合、第二階層候選設施區位以及貨種。

Pirkul and Jayaraman (1996) 發展 PLANWAR (PLANt and WAREhouse) 模式以處理多物種、多工廠、有容量限制之設施區位問題，並尋求整體配送網路營運成本最小時最適生產工廠及物流中心區位與數量。至 Hinojosa et al. (2000) 除考慮多物種外，亦將規劃時段之時間因素納入模式，併同

考量。

2.2 轉運中心區位問題

離散性轉運中心區位問題 (discrete hub location problem) 係在特定的起迄點間，選取適合作為交通轉運或轉換的設施位址。在轉運中心系統中，從起點至迄點的移動過程通常會經過一或二個轉運中心。由於規模經濟的緣故，通常轉運中心間之移動成本要較轉運中心與起點或迄點間之移動成本便宜。轉運中心區位問題在運輸與通信系統上應用極廣，例如：空運快遞、零擔汽車貨運、主機板或電路板設計。依據需求點接受轉運中心服務數量的限制，轉運中心區位問題可分為單一(single)與多重指派(multiple allocation)兩類，其中單一指派問題(O'Kelly, 1986, 1987, 1992; Klincewicz, 1991; Aykin, 1990)係指每一個需求點僅能指定由單一轉運中心提供服務；多重指派問題(Hall, 1989; O'Kelly and Lao, 1991)則是指每一個需求點能夠接受一個以上的轉運中心提供服務。O'Kelly (1987) 結合單一指派與 p-hub 中位問題特性，利用是否被指定為轉運中心城市之二元整數變數，構建求取最小運輸成本之二次式(quadratic)轉運中心區位選擇整數規劃模式，其數學式列式如下：

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j W_{ij} \left(\sum_k X_{ik} C_{ik} + \sum_m X_{jm} C_{jm} + a \sum_k \sum_m X_{ik} X_{jm} C_{km} \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } (n-p+1)X_{jj} - \sum_i X_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

$$\sum_j X_{jj} = p, \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in I, j \in J. \quad (5)$$

其中 W_{ij} = 由節點 i 至節點 j 之流量,

X_{ik} = 若節點 i 連結至轉運中心 k ，其值為 1，否則為 0,

X_{jm} = 若節點 j 連結至轉運中心 m ，其值為 1，否則為 0,

X_{jj} = 若節點 j 為轉運中心，其值為 1，否則為 0,

C_{ik} = 節點 i 至轉運中心 k 之單位運輸成本,

C_{jm} = 節點 j 至轉運中心 m 之單位運輸成本,

a = 轉運中心間折扣係數,

n = 相互連接之總城市 (節點) 數,

p = 轉運中心設置數。

2.3 軸輻式網路設計

在軸輻式網路系統中，流量由散佈在轉運中心外的非轉運中心節點到達轉運中心，經過重新組合後，接續前往其他的轉運中心或最終目的地。如此，將相同起點但不同迄點的流量集中至轉運中心，以及將不同起點但相同迄點之流量整併至轉運中心之集中與擴大範圍之營運方式，使得軸輻式網路系統擁有規模經濟之效益。Aykin(1995) 運用軸輻式網路設計，探討空運系統採非限制轉運 (nonstrict hubbing) 與完全限制轉運 (strict and restrictive hubbing) 營運政策之效果；Kim et al.(1999) 將其應用於快遞包裹複合運輸之探討；Grünert and Sebastian(2000) 將其應用於郵政與快遞公司之營運規劃；Jaillet et al.(1996) 將其應用於航空網路之設計；Kuby and Gray (1993) 則將其應用於聯邦快遞之實際營運；林正章與劉志遠(1999) 將其運用在國內公路路線貨運業整體運輸網路設計；另不論屬轉運中心區位或軸輻式網路研究，又可依據其決策變數型態之不同，分為以路徑(path)為決策變數者，包括：O’Kelly et al. (1996)、Campbell (1994b)、馮正民與黃新薰(2005)，及以節線(link)為決策變數者，包括：Kim et al. (1999)、Lin (2001)。至於整體回顧文獻則可參考 Campbell(1994a, b)、O’Kelly and Miller(1994)、Aykin(1995)等篇。

2.4 運輸外部成本內部化

對國家、區域、都市經濟而言，貨物運輸是一項極為重要的要素。因為低廉的貨物運輸成本可讓企業擁有競爭力，亦即在確保人們與物品之有效運輸前提下，設法使總運輸成本極小化，確為一項良好的社會公共政策。惟站在政府決策者的角色而言，運輸規劃的目標應為追求各世代最大之整體社會福利，換言之，即必須在改善或維護環境品質與不損及後世代居民生活環境之前提下，發展永續的運輸系統。各國政府有鑑於此，即將永續運輸系統之發展納入其中長程運輸政策之中，以為因應。以美國為例，各級政府政策傾向於降低汽車於特定目的（例如通勤）之使用，故汽車排放標準亦於「清淨空氣法案」中明確規範。1963年所制訂之「清淨空氣法案」，並分別於1970、1977與1990年加以修訂。該法案提供一機制以設定周遭空氣品質標準，進而訂定最大可接受之空氣污染濃度。這套標

準適用於CO、O₃、NO₂、SO₂、PM₁₀、Pb。法案中亦規定汽車排放標準，包括CO、VOC、NO_x、VOC蒸氣等之排氣管排放量。加州因其特殊的地形與氣候，採用更嚴格之標準(Small and Kazimi, 1995)。另在歐洲方面，歐盟在有關公平與有效定價的綠皮書(CEC,1995)中論及：環境與運輸政策混合行使的方法所造成之結果，讓人無法滿意：包括過度擁擠、過度之事故率及過度之污染。因此，綠皮書呼籲能有更多的基本定價政策以控制運輸活動所產生之負面效果。該綠皮書係為最近支持對汽車使用者收取全額成本(full cost)之政策宣示。

基上，對於運輸使用者收取其從事運輸活動所需支付之全額成本，亦即包括對社會、環境所造成負面影響之外部成本，已有共識。然衡量真實之汽車行旅社會成本即有其急迫性、重要性，以及壓力(US Federal Highway Administration, 1982, Quinet, 1993, Favrel and Hecq, 2001)。

一、運輸外部成本之定義與類別

Varian(1984)、Mayeres et al.(1996)、Persson and Ödegaard (1995)曾分別對運輸外部成本研訂定義如后。

Varian(1984)：在基本一般均衡模式中，經濟體間係透過價格影響產生互動，惟當某方經濟體透過非價格的活動方式影響其他經濟體之環境時，我們即稱之有外部性存在。在估算社會成本時，較理想的狀況應為檢視每多增加一單位運輸服務時之邊際社會成本。就社會觀點而言，若貨運業者所支付之使用者邊際費用等於邊際單位貨運社會成本時，所提供之運輸服務已適當支付其應付費用。由實務面觀之，甚難估算精確的貨運邊際社會成本。惟當設定在某特定環境時，該邊際社會成本之估算大多較可靠。TRB (1996)在其出版的貨運邊際社會成本報告結論中，亦特別強調其研究限制。TRB建議能有更多的案例研究以充實貨運邊際社會成本之知識。

Mayeres et al. (1996)：所謂外部成本係由其他人所承受或負擔的成本，這裡所謂的其他人可包括：鄰居、其他國家、其他洲、世界抑或下一代。一般而言，各級政府只會關心選區內居民的福利，亦只會考量該些居民所承受的外部成本。計算邊際社會成本需用到邊際外部成本，而非總外部成本。植基於邊際社會成本的定價要較植基於平均社會成本的定價更符合資源分配功能，因此，邊際社會成本應為使用者已付邊際私人資源成本與邊際外部成本之總和。

Persson and Ödegaard (1995)：傳統定義上包含所有有害副作用的成本，例如事故、污染、擁擠等，所有由公路運輸服務所產生的產品與消費。所稱這些外部成本，亦即運輸服務提供者，並無支付責任的這些不同類型有害副作用成本；反之，有支付責任的成本，則稱之為內部成本。

至於運輸服務外部成本的類別方面，較重要者包括：

1. 空氣污染。
2. 交通事故。
3. 擁擠。
4. 噪音。

二、運輸外部成本衡量方法

由於本研究在進行經濟可行性分析時，主要係以城際間長距離主線運輸，鐵、公路運具所需負擔之外部成本為研究重點。因此，擁擠、噪音並不在本研究範圍之內。以下僅針對空氣污染、交通事故等外部成本之衡量方式進行相關文獻探討。

1. 空氣污染

Small and kazimi(1995)：三種與交通有關之主要污染為易揮發之有機化合物(volatile organic compounds, VOC)、一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)。其中VOC易與有機氣體產生反應，讓汽車排出特殊氣味；易與NO_x產生反應，形成多種具傷害性的氧化物，例如：臭氧(O₃)；亦產生次級碳(secondary carbon)-微粒物質(particulate matter, PM)之主要成分。又VOC之主要成分為HC，常隨未燃燒汽油之成分排出；另一成分為於氧化過程中形成之氫氧混合氣化合物，例如甲醛(National Research Council, 1991)。最輕的HC-甲烷相較其他VOC的成分，較不易起反應，故常免於管制。基上，資料有時以 non-methane hydrocarbons(NMHC) 與 non-methane organic gases(NMOG)分類蒐集，但由於由汽油車所排放的VOC、ROG、HC、NMHC、NMOG的量很少，故大多時候均不在意其差異。此外，汽車亦會直接排放微粒物質及SO_x（主要為SO₂），特別以柴油引擎車為甚。近年來對汽車排放物所造成的影響中，更廣推至主要為二氧化碳之溫室氣體，該氣體已在地球大氣層累積近數十年，甚或世紀(Cline, 1991)。隨著溫室效應而來的，將會是大量未知但可能極具戲劇性變化之風與降雨型態，以及海平面的上升。

至於可推算排放成本的方法，至少有以下3種：

- a. 損害之直接估算。
- b. 特徵定價法 (hedonic pricing measurement)。
- c. 決策者之顯示性偏好(revealed preference of policy-maker)。

Mayeres et al.(1996)：計算公路運輸邊際空氣污染外部成本三步驟：

- a. 建立排放量變化與所造成不同主次要空污濃度之關係。
- b. 建立空污濃度與所造成對健康、植物、物質(materials)、能見度(visibility)、生態系統影響之關係。

c. 確定不同的空污影響程度之貨幣值。

Mayeres 在 1993、1994 年以決策者之顯示性偏好為基礎，估算公路運輸所排放 VOC、NO_x、SO₂ 之邊際社會成本，亦即達到國際認同目標所需花費之減少空污成本。惟在本研究 1996 年的研究中採用 Small and Kazimi(1995)之直接損害估算法 (direct damage estimation approach)。

Favrel and Hecq(2001)：一般模式方法在程序方面可分成以下 3 個模組：

- a. 估算由公路交通與室內暖氣所造成之空污排放量。
- b. 構建排放物與附近空氣污染濃度之關係。
- c. 利用 exposure-response 函數估算實際損害及其貨幣值。

為推求公路交通所造成空污排放對污染濃度之關係，可利用 CESSE(Center for Economic and Social Studies on the Environment)已發展之非線性多元迴歸計量經濟模式。

實際損害及其貨幣值之估算，則可利用 ExternE project 中所構建之 exposure-response 函數：不同地區之污染集中度=f(經濟變數、氣象變數)。其中經濟變數為都市地區主要經濟活動的排放例如：交通、室內暖氣、工業；氣象變數則為風速、混合高度、降雨量、溫度、每日日照時段等。

該研究所推得 Emissions –immissions relationship 如下：

$$POL_i = [\alpha_i \cdot deh_i + \beta_i det_i + \gamma_i] \left(\frac{1}{vel} \right) \delta_i \cdot e^{(\epsilon_i, precip)} \cdot e^{(\zeta_i, mixh)} \cdot e^{\eta_i, sun}$$

POL_i ：污染 i 每日平均集中程度

deh_i ：每日室內暖氣所造成污染 i 之排放

det_i ：每日公路交通所造成污染 i 之排放

vel ：每日平均風速

$preci$ ：每日降雨量

$mixh$ ：日中(midday)混合高度

sun ：每日日照時段

Gibbons and O'Mahony (2002)：在愛爾蘭，現今運輸已被視為空污之

最大污染源(EPA,1996)。而 TRENEN 模式中所採用之外部空污成本係由 ExternE 運輸計畫(Bickel et al., 1998)推論而得。至 ExternE 運輸計畫則是利用衝擊路徑法(impact pathway, Bickel et al., 1998)推得:

排放模式→擴散(dispersion)模式→實體衝擊(曝光-反應函數)→貨幣值估算

Beuthe et al.(2002): 評估污染效果之方法主要係參考由Mayeres et al.(1996)所彙整之不同研究方法。經沿用Small and Kazimi (1995) 之研究, 計算 1 gm PM₁₀污染對死亡之貨幣值公式: 每克污染損失=每克污染濃度*人口數*死亡率*生命價值(死亡率=0.66/10 萬, 生命價值=4,452,841 ECU) 推得PM₁₀=84.5mECU/g (mECU=1/1000ECU)、VOC=1.5mECU/g、NO_x=7.6 mECU/g; 沿用Hall et al.(1992)之研究, 推得污染粒子濃度對疾病之影響效果為PM₁₀=4.17mECU/g、VOC=0.06mECU/g、SO_x=4.52 mECU/g、NO_x=0.36 mECU/g; 另由於CO與CO₂ 排放造成全球溫室效應, SO₂與NO_x之排放對穀類植物造成不良影響, SO₂尚且會對森林造成傷害, 經沿用Mayeres et al.(1996)參考Frankhauser(1995), Extern Report(1997)and Nilsson(1991)等之研究成果知, 各污染排放所造成之損失為CO=0.009mECU/g、CO₂=0.006mECU/g、NO_x=1.167 mECU/g、SO₂=1.834 mECU/g。

倪佩貞等(2000): 機動車輛排放之污染物包括氮氧化物(NO_x)、碳氫化合物(HC)、一氧化碳(CO)、粒狀物/懸浮微粒(TSP)、鉛(Pb)及硫氧化物(SO_x)等, 部分碳氫化合物尚包括曲軸箱蒸發逸散及行駛間之逸散排放, 粒狀物/懸浮微粒則包含車輛輪胎磨損及煞車磨損排放等, 各污染物排放情形視燃料種類及車輛特性而異, 此外, 其他環境之影響因素亦不小, 如溫度及地形等。大致而言, 汽油車排放之主要污染物為碳氫化合物、一氧化碳、氮氧化物及鉛等, 而柴油車排放之主要污染物為粒狀物/懸浮微粒及硫氧化物。

國外較常見之車輛污染排放量推估模式種類包括: MOBILE6 及 PART5 (美國環保署)、EMFAC7G (美國加州 ARB) 及 COPERT II (歐洲環境保護署) 等, 該等模式中皆可依車種分別推估出在不同車速或其他不同環境條件下, 甚至不同年份之排放係數, 各車種排放係數乘上其相對之車行里程, 即等於車輛污染排放量。其基本推估公式 (IPCC/OECD,1996) 如下:

排放量 = Σ(排放係數_{abc} * 活動強度_{abc})

a: 燃料類別(柴油、汽油、LPG、bunker 等)

b: 車種型態(如公路之小客車、小貨車、大客貨等)

c: 排放控制狀態

目前國內在進行一般污染物排放推估時，較常使用之方式即由各車種之車行里程乘上其對應之排放係數估之(IOT, 2001)，而此排放係數係利用美國 Mobile5 模式或國內依此修改而得之 Mobile-Taiwan2.0 模式(EEA,1996)代入本土相關基本數據推估之。

蕭代基、錢玉蘭 (2000)：空氣污染對人體健康的影響包括死亡(mortality)與罹病(morbidity)兩種效果。衡量死亡風險降低效益之方法有：

- a.市場價值評估法：人力資本法 (human capital measure of value)。
- b.替代市場價值評估法：特徵工資法(hedonic wage method)、趨避行為法 (averting behavior approach)、特徵財產價值法(hedonic property value method)。
- c.假設市場價值評估法 (contingent valuation method)。

衡量罹病風險降低之效益的方法有：疾病成本法、趨避行為法、假設市場價值評估法。

2. 交通事故

Persson and Ödegaard (1995)：Jansson 依據 Mishan(1971)定義總公路事故成本：

$$TC^A = (a + b)rQ + cnA$$

Q = 每單位時間總車-公里

A = 事故數 = rQ/n

r = 單位時間內，每車-公里之事故風險 = $r(Q)$

n = 每件事務平均牽涉車輛數

a = 汽車駕駛人為使事故風險降至 0 所願支付之金額

b = 汽車駕駛人之依賴者(dependent)為使事故風險降至 0 所願支付之金額

c = 由社會其他人所負擔之每車冷血(cold-blooded)成本

Jansson(1994)認為汽車駕駛人應支付社會與私人邊際事故成本間差額之成本。

$$P^A = \frac{\partial TC^A}{\partial Q} - (a + b)r$$

* 式中第一項：社會邊際成本；第二項：私人邊際成本

* 假設車流中均為單一同質車輛所組成

所有車-腳踏車總事故成本 TC^X ：

$$TC^X = (a + b)rM + cX$$

$$P_{cars}^X = \frac{\partial TC^X}{\partial Q} = (a + b + c) \frac{\partial r}{\partial Q} M$$

$$P_{bike}^X = \frac{\partial TC^X}{\partial M} - (a + b)r = (a + b + c) \left(r + \frac{\partial r}{\partial M} M \right) - (a + b)r$$

X = 包含小汽車與腳踏車之事故數 = $X(Q, M)$

M = 總腳踏車-公里數

r = 每腳踏車-公里數預期發生之小汽車-腳踏車事故數 = $r(Q, M)$

相關外部事故定價：

$$P_v^A = \left[c_o^k r_o^k + (a + b + c)_{no}^k r_{no}^k + c_o^i r_o^i + (a + b + c)_{no}^i r_{no}^i \right]_v$$

k = 死亡

i = 受傷

o = 車內成員 (occupant)

no = 非車內成員 (non-occupant)

v = 車型

* 事故邊際外部成本 = 每一事故邊際成本 * 邊際事故風險

Mayeres et al.(1996)：由經濟文獻知，邊際外部事故成本 = 邊際社會事故成本-邊際私人事務成本。參照 Jansson(1994)之研究：

$$\text{Total Accident Cost (TAC)} = \sum_{i=1}^6 \sum_{n=1}^4 (a^n + b^n + c^n) \sum_{j=1}^7 r_{ij}^n X_i$$

i = 運具別

j = 外部目標 (例如他車、樹、牆)

n = 事故嚴重性 (致命、嚴重傷害、輕傷、財務損失)

r_{ij}^n = 運具 i 為受害者，運具 i 與 j 間嚴重程度 n 之事故發生機率

X_i = 運具 i 車行公里數

$$r_{ij}^n = A_{ij}^n / X_i$$

$$A_{ij}^n = A_{ij}^n / (X_i, X_j)$$

A_{ij}^n = 運具 i 為受害者，運具 i 與 j 間之事故數

a^n = 為避免類型 n 事故發生，所願意支付之金額 (溫血 (warm-blooded) 成本)

b^n = 為避免類型 n 事故發生，親人或朋友所願意支付之金額（溫血（warm-blooded）成本）

c^n = 類型 n 事故發生，純經濟成本（淨輸出損失、救護成本、醫療成本）（冷血（cold-blooded）成本）。

小汽車之邊際社會事故成本（MSAC）

$$\begin{aligned} MSAC_{car} &= \sum_{n=1}^4 (a^n + b^n + c^n) \sum_{j=1}^7 r_{car,j}^n \\ &+ \sum_{n=1}^4 (a^n + b^n + c^n) \sum_{j=1}^7 \frac{\partial r_{car,j}^n}{\partial X_{car}} X_{car} \\ &+ \sum_{i \neq car, n=1}^4 (a^n + b^n + c^n) \frac{\partial r_{i,car}^n}{\partial X_{car}} X_i = MSAC_{car}^1 + MSAC_{car}^2 + MSAC_{car}^3 \end{aligned}$$

上式第一項：車內人員之事故風險社會成本。

第二、三項：小汽車及其他用路人由於車-公里之增加，所導致事故風險增加之社會成本。

Beuthe et al.(2002)：沿用 Jansson's (1994) 之方法，

車輛間總社會成本： $CST_m = (a+b+c) rF = (a+b+c) AX$

車輛與行人或騎腳踏車者： $CST_p = (a+b+c) sM$

a: 用路者為避免事故風險所願意支付之金額

b: 關係人（closest relations）為避免事故風險所願意支付之金額

c: 每車冷血（cold blood）成本（警察、救護車..等）

F: 交通量

X: 車輛間之事故數

A: 每一事故平均牽連之車輛數

M: 行人與騎腳踏車者旅行總公里數

$r=(XA/F)$: 事故風險

$s=(X/M)$: 事故風險

推算出公路平均事故外部成本為 12.95mECU/ton-km，鐵路平均事故外部成本為 2.44mECU/ton-km。

Forkenbrock(1999, 2001)：將人的生命與個人的傷害予以量化的工作相當多，”willing to pay” 成為相當關鍵的方法。根據該種概念，特種事故

的成本，係人們所願支付以降低該事故發生風險之金額。都市研究所替公路總局彙整許多風險降低值的研究結果(Miller et al., 1991)。該研究將 1991 年數值轉換成 1994 年數值。整車一般貨運運送業者平均每車英里運送 14.8 噸。一般貨運貨車平均之事故社會成本為 1 cent/ton-mile。為估算一般貨運貨車每噸英里外部成本，需確定受影響貨車公司已支付之補償金額 (accident external cost = Total accident social cost-amount of compensation)。補償費有兩項：員工補償津貼(premiums)、個人責任與財產損害保險。經推算事故外部成本為 0.59cent/ton-mile。

Lindberg(2001)：事故外部性理論首由 Vickery(1968)提出，他強調事故風險增加所產生之外部性係因較高之交通流量所致（交通流量外部性）。Newbery(1988)應用類似的方法估算英國道路交通之外部成本。Jones-Lee(1990)在其構建的模式中涵括汽車及未被保護的道路使用者兩種對象，同時亦指出對事故關係人與社會所造成的外部性（系統外部性），以及對行人與自行車騎士所增加之風險（交通類別外部性）。Jansson(1994)藉由綜整先前之研究成果以推導其理論，且將前述三種外部性均予涵括，並就同質(homogeneous)與異質(heterogeneous)車流發展不同之模式。

邊際外部事故成本應該涵括：

- a. 加諸於同一車種其他用路人的成本。
- b. 加諸於其他車種用路人的成本。
- c. 加諸於社會的成本。

$$MC_j^e = Q \frac{\partial AC_j}{\partial Q} + \frac{\partial TC_k}{\partial Q} + \theta rc$$

$$= r(a + b + c)[(1 - \theta) + E] + \theta rc.$$

MC_j^e = 車種 j 的邊際外部事故成本

Q = 車種 j 的交通流量

$X = f(Q, \dots)$ = 車種 j 與其他車種間多車(multi-vehicle)碰撞事故數

$a + b + c$ = 每次事故的總成本， c 為運輸系統外部成本

θ = 每次碰撞事故中，車種 j 所應負擔總成本之比例

$r = \frac{X}{Q}$ = 車種 j 之事故風險

$E = \frac{\partial r}{\partial Q} \frac{Q}{r}$ = 風險彈性

$AC_j = r(a + b + c)\theta$ = 車種 j 之平均事故成本

$$TC_k = X(a + b + c)(1 - \theta) = \text{其他車種 } k \text{ 之總事故成本}$$

2.5 權重法

權重法(Weighting Method) 為最早發展出來之多目標規劃法，也是多目標規劃法中最基本的一種分析法 (許志義, 1995)。其特性為在目標函數前設定一個權數，並將加權後的各個目標予以加總，使多目標規劃問題轉化為單目標規劃問題。此法事先不知決策者的偏好，係藉由權數的變動，求算非劣解集合，以供決策者選擇。本法最早由 Zadeh(1963)所提出，隨後 Marglin(1967)及 Major(1969)曾先後探討權重法在公共投資問題之應用。

1. 權重法之特點

權重法具有四個特點：

- (1) 權重法所求得之極點與其各極點之間，可能只是近似的非劣解集合，而非真正的非劣解集合，且其相似的程度並無法確知。惟可增加權數的變動次數以改善解集合的逼近程度。
- (2) 權重法所求的目標值只是在求取非劣解時的目标值，而非決策者心中的效用值。
- (3) 權重法的基本假設為各目標可以透過權重予以相加。
- (4) 權重法僅適用於可行解區域為凸集合之情況。

2. 權重法的求解過程

若考慮多目標極大化問題的一般式為(1)式：

$$\begin{aligned} \text{Max } Z(x) &= [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_p(x)] \\ \text{s.t.} \quad & x \in S \end{aligned} \quad (2-1)$$

則利用權重法可將(2-1)式轉化為(2-2)式：

$$\begin{aligned} \text{Max } Z(x) &= W_1 Z_1(x) + W_2 Z_2(x) + \dots + W_p Z_p(x) \\ &= \sum_{k=1}^p W_k Z_k(x) \\ \text{s.t.} \quad & x \in S \end{aligned} \quad (2-2)$$

其中， W_k 為第 k 個目標函數(Z_k)的權數，可視為第 k 個目標相對於其他目標的價值或重要性。

(2-2)式可以單一目標求解，而其解為一最適解。但此解相對於(2-1)式之多目標規劃問題而言，則僅為一非劣解。若變動 W_1, W_2, \dots, W_k 之值，即可能得到不同的非劣解。

2.6 綜合評析

經回顧相關文獻後發現，文獻上與本文所提議題相同之論文甚少，然在模式構建過程中，均可提供參考。本研究依據有無容量限制、規劃時段、考量物種、運送階層、供給來源等特性，將設施區位問題予以適當分類如圖 2-1 所示。後續則將針對本研究所欲探討之問題與研究目的，以單時段、多物種、兩階層、限制每一顧客需求點僅能由單一設施提供所需物品，且具有容量限制之設施區位模式（如圖 2-1 所示）為基礎，結合轉運中心區

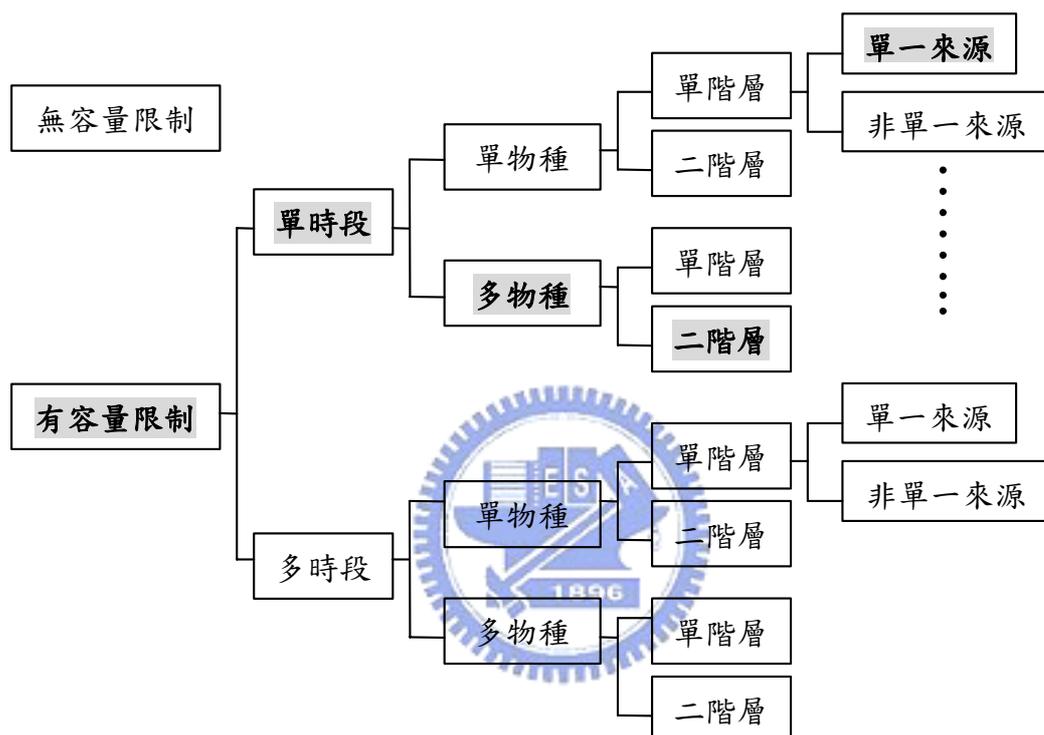


圖 2-1 設施區位問題分類

位與軸輻式網路模式，並參照台鐵與物流業者實際運作方式，構建「城際複合物流運輸鐵路轉運中心最適區位」模式，並運用無偏好多目標規劃法中之權重法，針對所構建之多目標數學規劃模式進行求解，俾深入探討鐵路與物流業者合作，提供物流服務之「城際複合物流運輸」所能獲得之財務利潤與經濟效益。

以政府決策者的角色而言，運輸規劃的目標應為追求各世代最大之整體社會福利，也就是必須在改善或維護環境品質與不損及後世代居民生活環境之前提下，發展永續的運輸系統。由文獻回顧發現，對於運輸使用者收取其從事運輸活動所需支付之全額成本，亦即包括對社會、環境所造成負面影響之外部成本，歐盟與美國政府多有共識。因此，本研究在進行經濟層面分析時，除考量財務成本外，亦會將運輸外部成本納入考量。由於

本研究提城際複合物流運輸方式與公路物流運輸方式最大的差異，在於城際間長距離主線運輸部分，因此在探討鐵、公路運具所需負擔之外部成本時，以空氣污染、事故為主。

另有關各項運輸外部成本之衡量方法部分，由於邊際社會成本定價要較平均社會成本定價更能使資源配置達到最大效率（或使社會福利達到最高），又邊際社會成本為使用者已付私人邊際資源成本與邊際外部成本之總和，因此，理論上所求社會成本或外部成本應為每增加一單位運輸服務對社會所造成的邊際社會成本或外部成本，而非平均社會或外部成本。然由實務面觀之，對於邊際社會成本與邊際外部成本，實甚難精確估算，例如國內因鐵路貨運營運所造成之死亡與受傷人數資料可取得，因而平均每噸-公里之事故成本亦可推得，但每增加一噸-公里之鐵路貨運邊際事故成本則甚難衡量。既知在廣泛變動的環境中，甚難正確估算每單位運輸（例如每噸公里）之邊際社會成本，以下兩項作法可擇一而行以為權宜：

1. 忽視外部成本，僅依據公部門所提供之服務或公共設施估算使用者費用及稅。
2. 加上一些相同的費用以反映外部成本，並接受某一程度內運具間之交叉補貼。

本研究傾向採用第 2 項作法。

受限於相關邊際外部資料取得之困難，本研究大多採用由總體資料推算而得之平均成本。另較適合本研究採用之空氣污染、交通事故等外部成本衡量方法，說明如下：

1. 空氣污染

空氣污染外部成本

= 車種 v 所造成空氣污染 e 之排放係數 (克/車公里)

× 車種 v 所造成空氣污染 e 之單位空氣污染成本 (元/克)

× 車種 v 所造成空氣污染 e 之車行里程 (車公里/單位時間)

2. 交通事故

交通事故外部成本

= 車種 v 所造成交通事故嚴重程度 s 之事故風險 (事故數/車公里)

× 車種 v 所造成交通事故嚴重程度 s 之交通事故成本 (元/每次事故)

× 車種 v 所造成交通事故嚴重程度 s 之車行里程 (車公里/單位時間)