

### 第三章 理論基礎與研究方法

本研究擬採用個體選擇模式，以建構乘客對於公車動態資訊系統查詢意願選擇及資訊傳輸介面偏好模式，根據問題特性，分別嘗試以多項羅吉特模式與巢式羅吉特模式構建模式。因此本章就個體選擇模式、羅吉特模式與巢式羅吉特模式理論、特性與變數設定、模式參數之校估和統計檢定等做一說明。

#### 3.1 個體選擇模式

##### 3.1.1 個體選擇模式之基礎理論

個體選擇模式亦稱為行為模式，其理論基礎主要來自二個與行為有關領域，其一為經濟學的消費者行為，另一為心理學的選擇行為。消費者行為的個體選擇模式是以效用函數為出發點，當消費者面對多種替選方案時，依效用最大之原則。舉例來說， $t$  這個人在面對  $J_t$  種替選方案時，選擇替選方案  $i$ ，即：

$$U_{it} > U_{jt} \quad j \in A_t, j \neq i$$

$U_{it}$ ：替選方案  $i$  所能帶給個人  $t$  的效用

$U_{jt}$ ：替選方案  $j$  所能帶給個人  $t$  的效用

$A_t : (1, 2, \dots, J_t)$  為個人  $t$  所能選的替選方案之集合

而效用函數又可用兩種變數來加以表示：

$$U_{it} = V(Z_{it}, S_t)$$

$Z_{it}$ ：替選方案  $i$  對個人  $t$  的屬性向量

$S_t$ ：個人  $t$  社會經濟特性

一般皆假設效用函數  $U_{it}$  為隨機變數，因為效用函數中存在一些不可衡量的部分，所以隨機效用函數  $U_{it}$  可分為可衡量  $V(Z_{it}, S_t)$  與無法觀測得之隨機效用部分  $\varepsilon_{it}$ ，即

$$U_{it} = V(Z_{it}, S_t) + \varepsilon_{it}$$

為了方便起見，一般都假定效用函數為線性，因此上式可改寫成：

$$U_{it} = X'_{it} \beta_t + \varepsilon_{it}$$

其中,  $X_{it}$ :  $k \times 1$  的可衡量變數 (應包括  $Z_{it}$  與  $S_t$ ) 之向量, 乃對個人  $t$  及替選方案  $i$  而言

$\beta_t$ : 個人  $t$  可衡量變數之參數向量

$\varepsilon_{it}$ : 誤差項

若將  $\beta_t$  表示成為平均值  $\beta$  與離差  $\delta$  之和, 則可得到下式:

$$U_{it} = X_{it}' \beta_t + X_{it}' \delta_t + \varepsilon_{it}$$

其中平均效用為  $V = X_{it}' \beta_t$ , 而無法觀測得隨機效用  $(Z_{it}, S_t) = X_{it}' \delta_t + \varepsilon_{it}$ ,

若對隨機向量  $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \varepsilon_{3t}, \dots, \varepsilon_{jt})$  分配做不同假設, 可導出不同的個體選擇模式:

1. 多項普羅比: 假設  $\delta_t$  與  $\varepsilon_t$  為多變量常態分配。
2. 多項羅吉特 (MNL): 假設  $\delta_t$  為 0 與  $\varepsilon_t$  為獨立且同一的 Gumbel 分配。
3. 一般化的極端值: 假設  $\delta_t$  為 0 與  $\varepsilon_t$  為獨立且同一的 Gumbel 分配, 其特殊例子為巢式羅吉特 (NMNL)。

### 3.1.1 多項羅吉特模式

#### 一、基本假設

1. 隨機效用理論。
2. 效用最大化原則。
3. 效用函數之隨機項 ( $\varepsilon_t$ ) 為獨立且一致的 (Independent and identical distribution I.I.D) Gumbel 分配

#### 二、公式推導

1. 多項羅吉特模式乃假設  $\varepsilon_{it}$  為 Gumbel 分配, 其機率函數型態如下:

(1) 機率密度函數 (p.d.f)

$$f(\varepsilon_t) = e^{-\varepsilon_{it}} \cdot e^{-e^{-\varepsilon_t}}$$

(2) 累積密度機率 (c.d.f)

$$f(\varepsilon_t) = e^{-e^{-\varepsilon_t}}$$

由效用最大化原則，如替選方案  $i$  能帶給個人  $t$  最大效用，則個人  $t$  選擇替選方案  $i$  其公式如下：

$$\begin{aligned} P(i) &= \text{Prob}(U_{it} > U_{jt}, \forall j \neq i, j \in A_t) \\ &= \text{Prob}[V_{it}(X_{it}, S_t) + \varepsilon_i > V_{jt}(X_{jt}, S_t) + \varepsilon_j, \forall j \neq i, j \in A] \\ &= \text{Prob}[V_{it} + \varepsilon_i > V_{jt} + \varepsilon_j, \forall j \neq i, j \in A] \\ &= \text{Prob}[V_{it} + \varepsilon_i - V_{jt} > \varepsilon_j, \forall j \neq i, j \in A] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\varepsilon_i + V_i + V_j} \dots \int_{-\infty}^{\varepsilon_i + V_i + V_j} g(\varepsilon) d\varepsilon_j d\varepsilon_i \quad \forall j \neq i \in A_t \end{aligned}$$

將上述機率密度函數與累積密度函數兩式代入，化簡得：

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$$

上式即為所稱標準多項羅吉特模式 (Multinomial Logit, MNL)，若只有二種替選方案時，則稱為二元羅吉特 (Binary Logit) 模式。

### 三、多項羅吉特模式的特性

1. 具不相干方案獨立性 (Independence of Irrelevant Alternative Property, I.I.A) 特性，及個體選擇兩替選方案的機率之相對比值僅與該兩替選方案效用之差有關而與其他替選方案是否存在無關。IIA 特性所產生應用上之優缺點如下：

優點：

- (1) 當選擇者有新的替選方案可供選擇時，僅須將此新替選方案之效用代入即可，不必重新校估效用函數之參數值。
- (2) 當替選方案很多時，理論上只要隨機選擇幾個替選方案來建立模式，預測結果與考慮全部時方案所獲得結果相同。

缺點：

各替選方案間須假設完全獨立，但事實上不太可能，故通常解決的方式一般利用市場區隔法（Market Segmentation）可略為改善部分替選方案間非彼此獨立之問題，但較佳解決方案為使用巢式羅吉特（Nested Logit）。

2. 若效用函數為線性時，社會經濟特性被指定為共生變數（Generic Variable），對選擇機率無影響，須修正為方案特定變數（Specific Variable）納入適當之方案效用函數中才顯著。
3. 對於具有  $N$  個可選擇之替選方案集合，最多僅能使用  $(N-1)$  個方案特定常數（Alternative Specific Constant）作為虛擬變數。

### 3.1.2 巢式羅吉特模式

多項羅吉特模式（MNL）之理論基礎較完整，但因多項選擇羅吉特模式具有不相干方案獨立性（IIA），各替選方案中如有些方案不互相獨立，或者互有相關性、互補性，或是模式定式不完全，均會導致模式估計錯誤。McFadden（1973）所推導巢式羅吉特模式（Nested Multinomial Logit, NMNL）為解決 IIA 特性所發生之問題之其中一種方法。

本研究採用巢式羅吉特模式理論，假設乘客先選擇是否會去查詢公車動態資訊系統，再決定選擇資訊傳輸媒介，其理論在於將相似的方案置於同一巢層，考慮層內方案間有相關特性。本研究以兩層為例，其架構如圖 3.1 所示，

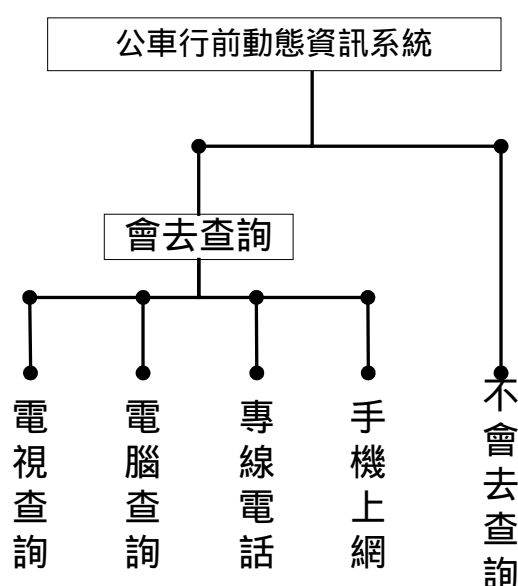


圖 3.1 NMML 模式架構說明圖

假設巢式羅吉特模式有  $M$  個巢，每一巢  $m$  有  $N_m$  個方案，則選擇  $i$  於  $m$  巢被

選到的機率為：

$$P_i = P_{i/m} \times P_m$$

$$P_m = \frac{e^{u_m I_M}}{\sum_K e^{u_m I_K}}$$

$$I_m = \ln \sum_{j \in N_m} e^{V_j / u_m}$$

$P_{i/m}$  為巢  $m$  之方案  $i$  被選到的機率， $P_m$  為  $m$  巢之選擇機率， $u_m$  為  $m$  巢的包容值係數， $I_m$  為  $m$  巢的包容值變數。包容值之係數  $u_m$  表示各替代方案間之不相似性，或可稱為「獨立性指標」。McFadden 指出包容值參數  $u_m$  介於 0 與 1 之間時，此模式將滿足效用最大原則。當  $u_m$  值等於 1 時，巢式多項羅吉特模式即可簡化成為多項羅吉特模式，顯示多項羅吉特模式為巢式羅吉特模式之一特例；若包容值之係數超出 0 與 1 之間的範圍，則模式所代表意義就不明確。若包容值係數  $u_m$  愈接近 0 時，表示方案之間相關性愈高。

## 3.2 模式變數設定與模式參數校估及檢定

### 3.2.1 模式變數設定

模式效用函數變數設定依其性質可分為下列四種：

1. 方案特定虛擬變數 (Alternative Specific Constant)：該變數主要目的在於吸收所有效用函數指定時所造成的誤差，對於模式中無法解釋的因素，及效用隨機項 ( $\varepsilon_{it}$ )，皆歸納在方案特定虛擬變數內。若有  $N$  個替選方案，則最多可有  $N-1$  個方案特定虛擬變數，否則會造成共線性。其值只有 0 與 1 兩種，當該變數存在某一替選方案時，其值為 1，對其他方案而言，其值為 0。
2. 方案特定變數 (Alternative Specific Variable)：當某個變數對所有不同替選方案具有不同的重要程度，則該變數對所有替選方案之效用函數中產生不同的效果，此時，該變數雖存在與所有替選方案之效用函數中，但其參數值應不同。
3. 共生變數 (Generic Variable)：當某變數對所有不同替選方案具有相同的重要程度，該變數對所有替選方案之效用函數中產生相同效果，此時所有替選方案之效用函數均具有該變數且其參數值均應相同，此種變數為共生變數。
4. 社經變數 (Social Economic Variable)：即與個人本身有關之屬性，由於同

一使用者在不同運具下之社會經濟特性均相同，因此如果將社會經濟變數指定為共生變數，則無法顯示該變數對運具選擇之影響，乃此變數不會出現在所有方案之效用函數中。若共有 N 個方案，則社經變數最多只能出現在 N-1 個方案中。

### 3.2.2 模式校估

個體選擇模式參數推估方法甚多，如線性最小平方法、非線性最小平方法，以及最大概似法，通常使用最大概似法（Maximun Likelihood Method）尋求模式參數。推估模式之參數步驟如下：

步驟一：

$$L = \prod_{t=1}^T \prod_{i \in A_t} p_{it}^{f_{it}}$$

其中，

L：個體樣本之概似函數

T：觀測樣本數

t=旅運者

$A_t$ ：個體 t 可選擇方案集合

$P_{it}$ ：個體 t 選擇替選方案 i 之預測機率

$f_{it}$ ：觀測指標值，

而  $f_{it}=1$ ，如果個體 t 選擇替選方案 i

=0，其他

步驟二：

利用最大概似法求出上式中概似函數 L 為極大之參數值。由於對數函數為嚴格遞增函數，故使概似函數 L 為極大之參數值 同樣能使對數概似函數  $\ln L$  為極大：

$$\text{對 } L \text{ 取對數，即 } \ln L = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in A_t} f_{it} \times \ln P_{it}$$

步驟三：

上式明顯是一個非線性函數，不過已被證明為一凸項函數，亦即僅有一極大

解，一般採用牛頓-雷甫生（Newton-Raphson）法，求各聯立方程式近似解，即可得各參數之推估值。

### 3.2.3 模式檢定

個體選擇模式之統計檢定，可分為模式參數檢定、模式結構檢定與近似 t 檢定三種方法：

#### 一、模式參數檢定

針對模式中所有參數做檢定，包含檢定參數正負號是否符合先驗知識；並檢定在某信賴水準下是否拒絕為 0 之 t 檢定。

#### 二、模式結構檢定

包括擬似比指標、擬似比統計量與漸進 t 檢定，其說明如下：

##### 1. 擬似比指標檢定（Likelihood-Ratio Index）

主要係用來衡量模式與數據間之配合能力，亦即為檢定模式之適合度（Good of fit）指標，類似迴歸模式之判定係數  $R^2$ ，此指標可分為等佔有率模式擬似比  $\rho^2$ ，與市場佔有率擬似指標  $\rho_m^2$ ，其定義分別如下：

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)}$$

$$\rho_m^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(M)}$$

其中，

$LL(\ )$ ：參數校估值為  $\beta$  之概似函數對數值

$LL(0)$ ：等市場佔有率模式（Equal Share）之所有參數皆為零之對數概似函數值

$LL(M)$ ：為市場佔有率模式（即為飽和模式）概似對數值。

由  $\rho^2$  介於 0 與 1 之間，故  $\rho^2$  愈接近 1 則表示與數據間之配合能力愈強。所謂市場佔有率（Market Share）模式即只含替選方案特定虛擬變數而不包含其他解釋變數的飽和模式，而透過市場佔有率擬似比指標則可反映出解釋變數對概似數值的解釋效果。依據 McFadden（1973）研究指出，若  $\rho_m^2$  介於 0.2 與 0.4 之間則表示模式與數據間之配合能力相當高。

## 2. 概似比統計量 (Likelihood-Ratio Statistics)

即乃以概似比檢定 (Likelihood Ratio Test) 為基礎, 檢定模式中所有參數是否顯著。概似比定義如下:

$$-2 \ln \lambda = -2 [\text{LL}(0) - \text{LL}(\hat{\theta})]$$

上式中為一卡方 ( $\chi^2$ ) 分配, 故以卡方檢定之, 其自由度為所有估計模式中所有參數之總數。若  $-2 \ln \lambda \sim \chi^2(k)$ , 則表示在某信賴水準下所測定的模式差, 亦即無法拒絕虛無假設; 若  $-2 \ln \lambda \sim \chi^2(k)$ , 則表示在某信賴水準下所測定的模式較等佔有率模式佳, 亦即拒絕虛無假設。

## 3. 漸近 t 檢定 (Asymptotic Test)

概似比檢定乃針對整個模式之所有參數做檢定; 而漸近 t 檢定則是對每一個參數是否等於 0 做個別檢定, 以檢定個別參數之顯著程度。對數概似函數的二次導函數乘上負 1 的反函數即為各參數之變異—共變異矩陣, 對角線開根號即為各參數之標準差。可類似迴歸分析中的 t 檢定, 漸近 t 值等於參數係數值除以標準差, 其公式如下:

$$t(\hat{\beta}_k) = \frac{\hat{\beta}_k - 0}{S.E(\hat{\beta}_k)}$$

其中,

$\hat{\beta}_k$ : 最大概似法估計之第 k 個變數之參數值

$S.E(\hat{\beta}_k)$ : 參數標準差

## 3.3 敘述性偏好

顯示性偏好存在屬性變數值變異程度不夠、蒐集資料費時、無法對尚未存在之方案進行有效需求預測、且變數間存在高度相關性, 導致校估出的參數不正確等缺點, 因此有敘述性偏好法的提出。敘述性偏好法 (Stated Preference) 最早有數學家 Luce 與統計學家 Tukey 提出, 於 1979 年英國學者首先將其應用在運輸分析上, 目前已廣泛應用在運具選擇需求分析, 除克服上述顯示性偏好法的缺點外, 還具有較易控制、應用具彈性和執行成本低等優點。其特點為將各種不同選擇方案乃藉由屬性組合情境, 讓受訪者依據其過去的經驗或直覺感受, 判斷其對各種情境之偏好或反應程度。此一方法在新產品之市場行銷分析應用甚多, 使用此方法分析個體選擇行為最大優點乃可研究新系統或新運具引進或運具屬性



改變後個體之選擇行為，並可透過旅運者行為傾向與偏好態度之瞭解，預期評估與分析，提供研究者對欲施行之政策方案或措施擬定之參考依據。

所謂敘述性偏好乃研究者由事先決定好屬性值之的替選方案，請受訪者以評分、排序、或選擇的方式指出其最偏好之替選方案。因為敘述性偏好法乃以模擬的運輸情境，詢問受訪者之意願；因此，可以取得受訪者對尚未存在新運具的偏好。同時，由於模擬的運輸情境可由研究者控制，因此可以克服顯示偏好數據解釋變數可能存在的缺點，而增進所建立運具選擇模式的解釋能力。但由於敘述偏好數據所建立的模式係以假設的運輸情境為基礎所建立，所以可能會與受訪者的實際選擇有一些差距。

敘述性偏好法之優點：

1. 較易控制研究的狀況。因為受訪者所要評估的狀況乃由研究者決定。
2. 較具彈性。研究者可依需要決定屬性值，因此屬性值會具較大的變異度。
3. 成本較低。可詢問每一受訪者多種不同的情境選擇，因而減少所需採訪的樣本數。

至於敘述性偏好法的最大缺點則在於人們對於所自述的偏好未必都與實際選擇行為相符，因此將敘述性偏好所得到的結果直接用於預測時會產生偏差。

一般而言，敘述性偏好法主要藉由下述五步驟完成蒐集決策者偏好資訊之程序：

1. 假設之替選方案以某種描述方式（文字、短文、圖形及實物展示等）呈現給受訪者。
2. 替選方案的描述，乃藉由影響選擇方案某些屬性而形成整體概念。
3. 這些屬性各具有許多水準值，替選方案之整體概念即這些屬性之任一水準值所組成情境。
4. 屬性及其水準值在情境組合時，常透過實驗設計技術，或隨機抽取水準值來完成設計。
5. 受訪者透過某種方式（排序、評分、選擇）表達對替選方案之偏好。

不同偏好衡量尺度將影響效用函數參數估計程序，偏好衡量方法一般可分為等級排序法（ranking-order）評分法（rating）及第一偏好法（first choice）等方式評估其對替選方案的整體偏好。選擇衡量尺度時必須依循研究目的，採取符合適合問題之前提假設，以及參數校估方法。

1. 等級排序法（ranking-order）

受訪者對替選方案進行等級排序。此法只能知道受訪者對方案偏好排序，而不能得知其強度。當替選方案過多時排序工作即顯得十分困難。

## 2. 評分法 (rating)

評分法之分數範圍通常無硬性規定，但範圍不宜過大，以免評分者無法明確表達其偏好；一般評分法之評分範圍多設為 0-10 或 0-20 分。

## 3. 第一偏好法 (first choice)

即受訪者對替選方案模擬其可能選擇之方案，被選擇方案即代表受訪者對於方案具有第一偏好。

不同偏好尺度選擇常有不同的參數校估方法，許多敘述性偏好實驗研究均指出，以第一偏好蒐集資料較有效率，且理論基礎較完整，無其他衡量尺度存在假設之檢定問題，故在交通運輸領域應用上多採第一偏好法。第一偏好法資料可利用個體模式中羅吉特 (Logit) 與普羅比 (Probit) 等方式進行參數校估。羅吉特模式因函數型式簡單，計算上較為方便，故較普羅比模式應用為廣。