

考慮異質性、相關性及內生性等不同 組合潛在變數之選擇模式： 以國道客運北高線為例

LATENT VARIABLE CHOICE MODELS CONSIDERING THE
DIFFERENT COMBINATIONS OF HETEROGENEITY, CORRE-
LATION, AND ENDOGENEITY – A CASE STUDY OF HIGHWAY
BUS COMPANIES SERVING THE TAIPEI-KAOHSIUNG ROUTE

胡琬珮 Wan-Pei Hu¹

(96 年 7 月 21 日收稿，96 年 11 月 5 日第一次修改，96 年 11 月 22 日
第二次修改，96 年 12 月 5 日第三次修改，97 年 5 月 19 日定稿)

摘 要

過去個體選擇模式考慮知覺與態度等不可觀測變數的方法，會有參數估計值不具一致性與有效性、指標無法直接影響決策、以及指標不適用於預測等問題。本研究的目的在於整合潛在變數與個體選擇模式，使參數估計值具有一致性與有效性，並增加模式的解釋能力，使政策變數之直接或間接影響更容易了解。研究對象為高雄至臺北路線之城際巴士客運旅客。實證結果顯示加入服務品質滿意度後，選擇模式的解釋能力大幅提升。旅客對各客運公司之便利滿意度與舒適娛樂滿意度會直接影響他們的選擇行為，便利滿意度之影響程度較舒適娛樂滿意度強。旅客的互動滿意度則透過便利滿意度與舒適娛樂滿意度間接

1. 國立成功大學交通管理科學系博士、正修科技大學企業管理學系助理教授 (聯絡地址：833 高雄縣烏松鄉澄清路 840 號正修科技大學企業管理學系；電話：07-7310606 轉 5103 或 5110；E-mail：mandy@csu.edu.tw；tom.mandy@msa.hinet.net)。

影響他們的選擇行為。

關鍵詞：異質性；相關性；內生性；潛在變數選擇模式；結構方程模式

ABSTRACT

In the past, the way that the discrete choice models treated the unobservable variables, such as perception and attitude variables, caused some problems. For example, the estimated parameters were not consistent or efficient, the index could not be used directly to affect the policies, and the index may not be suitable in the prediction. The purpose of this research is to integrate the latent variables with the discrete choice models to make estimated parameters more consistent and efficient, to increase the explanatory power of the choice models, and to make the direct or indirect effects of the policy variables more easily understood. The research subjects were the intercity bus travelers of Taipei-Kaohsiung route in Taiwan. The empirical results showed that the inclusion of satisfaction of service quality variable significantly improved the explanation power of the choice model. The results also showed that the satisfaction of the travelers toward the bus companies' convenience of service, comfort, and entertainment will directly affect their choice behavior. The effect of convenience satisfaction was stronger than that of comfort and entertainment satisfaction. The passengers' interaction satisfaction indirectly affected their choice behavior through their convenience, comfort, and entertainment satisfaction.

Key Words: *Heterogeneity; Correlation; Endogeneity; Latent variable choice model; Structural equation model*

一、前言

國道客運市場自民國八十四年開放迄今，呈現多家客運業者競爭之局面，業者對於旅客乘車行為的了解亦逐漸重視。以往客運業者大多依其營運經驗推測旅客乘車行為，缺乏學理基礎與系統性的驗證，因此對旅客特性與乘車行為的了解僅有模糊的認知，此種情況將有礙於客運業者拓展業務。有鑑於此，業者除了塑造自己獨特的特色以吸引旅客外，更需掌握國道客運旅客之乘車行為，以研擬競爭策略、提供適切服務，達拓展業務之成效。現今於運輸規劃或管理領域，大多透過建構個體選擇模式 (discrete choice model, DCM) 來達成掌握旅客乘車行為之目的，因此本研究將建構國道客運旅客選擇行為之 DCM 以了解旅客特性，提出具體建議以供相關單位與客運業者參考，亦可拓展為其他競爭運具經營者參考。

近年來，DCM 的發展多在強調如何於模式中，考慮知覺與態度等不可觀測的因素。其使用的方法有許多種，大致有將潛在因素之可觀測指標直接放入效用函數中^[1,2]、利用統計方法得到潛在變數之配適值代入選擇模式中^[3]、以及將方案之潛在屬性和消費者偏

好，由偏好或選擇資料推論獲得^[4,5]等不同處理方式。然而，這些方法有一些問題存在，例如以可觀測指標來代表潛在因素可能會存在共線性、指標並不是直接影響決策、以及指標並不適用於預測等問題^[6]；而利用統計方法得到潛在變數配適值之兩階段校估法，可能會導致參數估計值不具一致性與有效性問題等校估方面的問題^[6,7]，或因參數估計值之偏誤，而影響政策分析結果之正確性。

除上述三種方法外，Gopinath^[8]、Morikawa 等人^[9]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]等學者，利用聯立方程式觀念，提出整合潛在變數 (latent variable) 與 DCM 之潛在變數選擇模式 (latent variable choice model, LVCM)，以一階段校估之最大模擬概似法 (maximum simulated likelihood, MSL) 克服積分的困難，獲得具有一致性及有效性的參數估計值。由於 LVCM 校估結果易應用於政策分析，可了解各政策變數對選擇方案機率之直接或間接影響效果，有助於分析票價反應石油漲跌以及旅行時間惡化或改善等政策，對乘客的流失或吸引之影響情況，並可解決先前研究所發生之問題，故以 LVCM 建構國道客運旅客選擇行為較適宜，因此本研究將以聯立方程式觀念之 LVCM 為基礎，將不可直接觀測的知覺與態度等變數，納入個體選擇行為模式中考慮。

目前國外應用 LVCM 的相關研究^[6-10]，大多以一階段校估方式考慮可觀測的重要解釋變數，對潛在知覺或態度變數之因果關係，以及潛在知覺或態度變數對選擇機率的影響。而國內則鮮有將不可觀測的知覺或態度變數考慮於 DCM 的研究，目前國內這類研究通常採用兩階段校估方法，於 DCM 中考慮知覺與態度等不可觀測的因素^[11]。故應用一階段校估方式考慮知覺與態度等不可觀測的因素於 DCM，以探討國道客運旅客選擇行為模式確有其重要性與必要性。

由回顧相關文獻可知，國外應用 LVCM 的研究中，除學者 Ashok 等人^[7]的研究將潛在變數假設為相關的外生變數之外，而其他學者的研究^[6,8-10]皆將潛在變數假設為內生變數，以應用於 LVCM，亦即較多的學者在應用 LVCM 時，同時考慮可觀測的重要解釋變數對潛在知覺或態度變數之因果影響關係，以及潛在知覺或態度變數對選擇機率的影響。如此可觀測的重要解釋變數將可直接影響選擇機率，同時透過潛在變數再間接影響選擇機率，故有助於了解各政策變數對方案選擇機率之直接或間接影響效果，便於進行反應票價及旅行時間增減等策略，對乘客的流失或吸引之敏感性分析，以達成提出具體建議供相關單位與業者參考之目的。

結構方程式 (structural equation modeling, SEM) 近年來已成為社會與行為科學領域研究中重要的分析方法^[12,13]。國外對於 LVCM 之相關研究，雖已考慮可觀測的重要解釋變數對潛在知覺或態度變數之因果關係，但潛在變數對選擇模式的影響，皆無法反應潛在變數彼此間層級式因果關係，亦即目前的 LVCM 雖可反應知覺與態度等不可觀測的因素對選擇方案的影響，但卻缺乏如 SEM 探討潛在變數間之層級式因果關係，故無法獲得豐富的旅客行為資訊^[11]。

回顧應用 SEM 探討國道客運旅客選擇行為之相關文獻^[11,14-16]，可知旅客知覺的服務品質、滿意度、及知覺價值等潛在變數，會直接或間接影響對國道客運的選擇行為；票價、

旅行時間、旅客社經特性與旅次特性等變數則會直接影響其對國道客運的選擇行為。故為使 LVCM 能夠更符合國道客運旅客之選擇行為，以增加模式之解釋能力，應將旅客知覺的服務品質、滿意度、及知覺價值等潛在變數間之層級式因果關係納入 LVCM 中考慮。

除了於 LVCM 中考慮潛在變數間之相關性與內生性情況，一些探討 DCM 的文獻對於個體異質性影響課題的討論，皆認為不考慮個體異質性將使得 DCM 的參數產生偏誤，而導致不正確的選擇行為推論^[17-19]。目前 LVCM 相關文獻中僅 Walker^[6]及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]有探討重要解釋變數之異質性情況，然個體間存在著品味差異情況不應僅限於傳統的重要解釋變數，模式中所考慮的潛在變數亦可能存在個體品味差異，亦即潛在變數亦可能有異質性問題存在，故於 LVCM 中考慮潛在變數之異質性是有其必要性。應用 LVCM 探討旅客對國道客運選擇行為，除需以一階段校估潛在變數選擇模式參數外，尚需考慮潛在變數之個體品味差異、相關性、以及變數間層級式因果關係等情況。由於目前以一階段校估 LVCM 的相關文獻中^[6-7,10]，皆僅應用於兩個方案間的選擇行為，然旅客對國道客運的選擇行為應為多個方案的選擇，故需將 LVCM 之應用情況擴充至多個方案間的選擇行為。此外，以往的 LVCM 相關研究^[6-7,10]對潛在變數的結構模式假設不盡相同，且彼此並無共同基礎可比較模式之優劣，此亦為本研究主要動機之一。

綜合上述，本研究欲建構的潛在變數選擇模式，包括作為各種潛在變數選擇模式比較基準之 LVCM、考慮個體品味差異之異質潛在變數選擇模式 (the heterogeneity of latent variable choice model, HLVCMM)、同時考慮異質性與相關情況之一般化潛在變數選擇模式 (generalized latent variable choice model, GLVCMM)、以及內生潛在變數選擇模式 (endogenous latent variable choice model, ELVCMM) 等四種，以構建旅客行為資訊較豐富之行為模式，並利用敏感性分析，了解票價漲跌以及旅行時間惡化或改善等政策，對乘客的流失或吸引之影響。

因此將本研究的研究目的歸納如下：

1. 探討票價、旅行時間、旅客社經與旅次等可觀測變數，以及服務品質滿意度等不可觀測潛在變數，對臺灣地區國道客運選擇行為之影響。
2. 構建一基準 LVCM 作為其他各種潛在變數選擇模式之比較基礎。
3. 考慮潛在變數存在個體品味差異之情況，以建構 HLVCMM。
4. 同時考慮潛在變數之異質性與相關性問題，以建構 GLVCMM。
5. 考慮解釋變數與潛在變數之因果關係，以及潛在變數彼此間之層級式因果關係，構建旅客行為資訊較豐富之 ELVCMM。
6. 藉由票價與旅行時間之敏感性分析，了解其對乘客的流失或吸引影響情況，以供相關單位與業者參考。

二、模式理論與研究方法

由於本研究探討的重點乃在個體模式中進一步考慮潛在變數之異質性、相關性、及內生性等問題，並且針對重要解釋變數對潛在變數之因果關係，以及潛在變數彼此間之層級式因果關係進一步考慮其可能的複雜關係，故應先建構不考慮潛在變數之 DCM，做為後續其他模式之比較基礎。此外，考慮以往的潛在變數選擇模式相關研究^[6-7,10]對潛在變數的結構模式假設不盡相同，且彼此並無共同基礎可比較模式之優劣，以及多項羅機 (multinomial logit, MNL) 最大似似函數值的計算基準與各種一階段校估之潛在變數選擇模式並不相同，故構建一基準 LVCM 作為本研究其他各種潛在變數選擇模式之比較基礎。由於 DCM 中以 MNL 模式應用最廣泛^[20-21]，因此首先介紹 MNL 模式，其次說明各種潛在變數選擇模式比較基準之 LVCM、潛在變數存在個體品味差異情況之 HLVCM、潛在變數同時存在異質性與相關性問題之 GLVCM、潛在變數彼此間之層級式因果關係之 ELVCM，以及模式參數校估的方法，最後說明本研究四種潛在變數選擇模式之建構方法，與潛在變數之衡量方法。

本研究之 LVCM、HLVCM、GLVCM、ELVCM 等四種模式，皆包含選擇模式和潛在變數模式兩個部分，每一部分皆至少需由一個或多個的結構方程式或測量方程式所組成，其中結構方程式是說明潛在變數之隨機分配函數，或可觀測變數、潛在變數與效用函數的因果關係，而測量方程式則是說明潛在變數和其指標的關係。

2.1 基礎模式 (MNL)

個體選擇模式以效用函數為起點，而效用函數 (U_{in}) 可以分為兩個部分，一為可衡量部分 (V_{in})，另一為不可衡量部分 (ε_{in})。一般均假設 U_{in} 為線性，可寫成： $U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$ ，故個體 n 於 J 個客運業者中選擇各業者 (方案) 的效用函數可指定為式(1)：

$$U_{in} = X_{in}\beta + \varepsilon_{in}, \quad i=1, 2, \dots, J \quad (1)$$

其中 X_{in} 係指各客運業者之方案屬性變數，例如旅行時間、票價、社經或旅次特性特定變數等可觀測方案解釋變數， β 為 X_{in} 之未知參數。若假設個體 n 在選擇客運業者時採效用最大原則，則個體 n 對於效用最大之客運業者實際選擇行為指標 y_{in} 為 1，而於其他客運業者之實際選擇行為指標 y_{in} 為 0，亦即效用之測量方程式應如式 (2) 所示。假設 ε_{in} 為獨立且相同之型一極端值分配，則可導出 MNL 模式，亦即個體 n 選擇客運業者 i 的機率如式 (3) 所示。

$$y_{in} = \begin{cases} 1, & \text{if } U_{in} = \max \{U_{jn}\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$P(y_{in}=1 | X_{in}; \beta) = \frac{e^{X_{in}\beta}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta}} \quad (3)$$

2.2 潛在變數選擇模式 (LVCM)

由於以往潛在變數選擇模式的相關研究^[6-7,10]對潛在變數的結構模式假設不盡相同，且彼此並無共同基礎可比較模式之優劣，故本研究之 LVCM 將以 Ashok 等人^[7]模式為基礎，參考 Walker^[6]的研究，於模式中假設潛在變數為獨立之標準常態分配，作為後續各種潛在變數選擇模式之比較基準，故基準 LVCM 包含 (1) 個體 n 選擇客運業者 i 的選擇機率方程式；(2) 潛在變數 X_{in}^{Δ} 之隨機分配函數與可觀測解釋變數 X_{in} 和 U_{in} 的因果關係的結構方程式；(3) 說明 X_{in}^{Δ} 和其指標 (I_{in}) 的測量方程式等三部分。

由 2.1 節之基礎模式可知，若於 U_{in} 中進一步考慮潛在變數 X_{in}^{Δ} ，則效用函數可指定為 $U_{in} = V(X_{in}, X_{in}^{\Delta}; \beta, \beta^{\Delta}) + \varepsilon_{in}$ ，假設 U_{in} 為線性則可改為式 (4)，其中參數 β 、 β^{Δ} 分別為 X_{in} 、 X_{in}^{Δ} 之未知參數。參考 Ashok 等人^[7]及以往潛在變數選擇模式相關研究^[6-7,10]皆無共同基礎可比較模式之優劣，故假設 X_{in}^{Δ} 為獨立之標準常態分配 ($X_{in}^{\Delta} \sim N(0, I_{\omega})$)，作為本研究後續各種潛在變數選擇模式的比較基準。測量方程式是說明 Q 個 I_{iqn} 和 X_{iqn}^{Δ} 的關係，考慮 LVCM 之認定 (identification) 與標準化 (normalization) 的問題^[6,10]，假設在潛在變數條件下 I_{iqn} 之分配函數為 $f_1(I_{iqn} | X_{iqn}^{\Delta}; \alpha, I_v)$ ，則測量方程式為 $I_{iqn} = m(X_{iqn}^{\Delta}; \alpha) + v_{iqn}$ 且 $v_{iqn} \sim N(0, I_v)$ ，若假設測量方程式為線性，則 X_{iqn}^{Δ} 和 I_{iqn} 的關係為式 (6)，其中 α 為 X_{iqn}^{Δ} 之因素負荷。此外，效用函數之測量指標方程式與式 (2) 同，後續不再贅述。若假設誤差項 (ω_{in} ， ε_{in} ， v_{in}) 彼此相互獨立，在 X_{in} 已知條件下，可觀測變數 (y_{in} 及 I_{in}) 之聯合機率可以表示如式 (7)，其中等號右側第一項即為選擇機率、第二項為 X_{in}^{Δ} 之分配函數 ($\phi(X_{in}^{\Delta})$)、最後一項為指標的分配函數。若假設 ε_{in} 為獨立且相同之型一極端值分配，則式 (7) 可以改寫為式 (8)，其中 $\phi(\omega_{sn})$ 為標準常態機率密度函數。

1. 結構方程式：

$$U_{in} = X_{in}\beta + X_{in}^{\Delta}\beta^{\Delta} + \varepsilon_{in} \quad (4)$$

$$X_{in}^{\Delta} = \omega_{in}, \quad \omega_{in} \sim N(0, 1) \quad (5)$$

2. 測量方程式：

$$I_{iqn} = m(X_{iqn}^{\Delta}; \alpha) + v_{iqn} = X_{iqn}^{\Delta} \alpha + v_{iqn}, \quad v_{iqn} \sim N(0, I_v) \quad (6)$$

3. 選擇行為之機率方程式：

$$\begin{aligned} & P(y_{in}, I_{in} \mid X_{in}, X_{in}^{\Delta}; \beta, \beta^{\Delta}, \lambda, \alpha, \Sigma_{\varepsilon}, \Sigma_{\omega}, \Sigma_v) \\ &= \int P(y_{in} \mid X_{in}, X_{in}^{\Delta}; \beta, \beta^{\Delta}, \Sigma_{\varepsilon}) \phi(X_{in}^{\Delta}) f_1(I_{in} \mid X_{in}^{\Delta}; \alpha, I_v) dX_{in}^{\Delta} dv d\varepsilon \end{aligned} \quad (7)$$

$$= \int \frac{e^{X_{in}\beta + (\omega_{in})\beta^{\Delta}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\omega_{jn})\beta^{\Delta}}} \cdot \prod_{s=1}^S \phi(\omega_{sn}) \cdot \prod_{q=1}^Q \phi(I_{iqn} - (\omega_{iqn})\alpha_q) d\omega \quad (8)$$

2.3 異質潛在變數選擇模式 (HLVCM)

本研究之 HLVCM 以 Walker^[6] 潛在變數選擇模式為基礎，參考 McFadden 與 Train^[22] 之 mixed logit 模式，進一步考慮潛在變數之異質性，故本研究所構建之 HLVCM 包含：(1) 個體 n 選擇客運業者 i 的選擇機率方程式；(2) 異質潛在變數 (X_{in}^*) 之隨機分配函數，與 X_{in} 、 X_{in}^* 和 U_{in} 的因果關係等結構方程式；(3) 說明 X_{in}^* 和其指標 (I_{in}) 的測量方程式等三部分。

由 2.2 節之基準 LVCVM 可知，若假設 U_{in} 為線性、 ε_{in} 為獨立且相同之型一極端值分配、 X_{in}^* 為獨立之多變量常態分配 ($X_{in}^* \sim N(0, \Sigma_{\omega})$)，則 X_{in}^* 之結構方程式改寫如式 (10)。測量方程式說明 Q 個 I_{iqn} 和 X_{iqn}^* 的關係，在潛在變數條件下 I_{iqn} 之分配函數假設為 $f_1(I_{iqn} \mid X_{iqn}^*; \alpha, \Sigma_v)$ ，則測量方程式為 $I_{iqn} = m(X_{iqn}^*; \alpha) + v_{iqn}$ 且 $v_{iqn} \sim N(0, \Sigma_v)$ ，若假設測量方程式為線性，則 X_{iqn}^* 和 I_{iqn} 的關係為式 (11)。同基準 LVCVM 假設誤差項 ($\omega_{in}, \varepsilon_{in}, v_{in}$) 彼此相互獨立，在 X_{in} 已知條件下可觀測變數 (y_{in} 及 I_{in}) 之聯合機率可以寫成式 (12)，其中 $\phi(\omega_{sn})$ 為標準常態機率密度函數。

1. 結構方程式：

$$U_{in} = X_{in}\beta + X_{in}^*\beta^* + \varepsilon_{in} \quad (9)$$

$$X_{in}^* = \omega_{in}\sigma_{\omega}, \quad \omega_{in} \sim N(0, 1) \quad (10)$$

2. 測量方程式：

$$I_{iqn} = m(X_{iqn}^*; \alpha) + v_{iqn} = X_{iqn}^* \alpha + v_{iqn}, \quad v_{iqn} \sim N(0, \Sigma_v) \quad (11)$$

3. 選擇行為之機率方程式：

$$\begin{aligned}
& P(y_{in}, I_{in} | X_{in}, X_{in}^*; \beta, \beta^*, \lambda, \alpha, \Sigma_\varepsilon, \Sigma_\omega, \Sigma_v) \\
&= \int P(y_{in} | X_{in}, X_{in}^*; \beta, \beta^*, \Sigma_\varepsilon) \phi(X_{in}^*) f_1(I_{iqn} | X_{iqn}^*; \alpha, \Sigma_v) dX^* dv d\varepsilon \\
&= \int \frac{e^{X_{in}\beta + (\omega_{in}\sigma_\omega)\beta^*}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\omega_{jn}\sigma_\omega)\beta^*}} \cdot \prod_{s=1}^S \phi(\omega_{sn}) \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi\left(\frac{I_{iqn} - (\omega_{iqn}\sigma_\omega)\alpha_q}{\sigma_{v_q}}\right) d\omega
\end{aligned} \quad (12)$$

2.4 一般化潛在變數選擇模式 (GLVCM)

本研究之 GLVCM 將以 Walker^[6]之潛在變數選擇模式為基礎，參考 Ashok 等人^[7]與 McFadden 與 Train^[22]的研究，於潛在變數結構模式之變異數矩陣以不限制 (unrestricted) 方式，同時考慮潛在變數之相關性與異質性。GLVCM 與 HLVCM、LVCM 等皆相似，包含選擇機率方程式、結構方程式、及測量方程式等三部分。

由 2.2 節之基準 LVCM 可知，若假設 U_{in} 為線性、 ε_{in} 為獨立且相同之型一極端值分配、 X_{in}^{**} 為多變量常態分配，且 X_{in}^{**} 為未限制之一般型外生潛在變數， TT' 為 X_{in}^{**} 的變異數矩陣， T 為 Cholesky 分解之下三角矩陣 (low-triangular matrix)， $X_{in}^{**} = \omega_{in}T$ ，則 U_{in} 可改寫為式 (13)。若以四個替選方案為例，則 T 可推導為式 (15)，由式 (15) 可知 X_{in}^{**} 同時具有相關與異質性的問題。測量方程式則是說明指標 (I_{iqn}) 和 X_{iqn}^{**} 的關係，假設 I_{iqn} 為線性，則測量方程式改為式 (16)。同基準 LVCM 假設誤差項 ($\omega_{in}, \varepsilon_{in}, v_{in}$) 彼此相互獨立， X_{in} 已知條件下 y_{in} 及 I_{in} 之聯合機率可以寫成式 (17)。

1. 結構方程式：

$$U_{in} = X_{in}\beta + X_{in}^{**}\beta^{**} + \varepsilon_{in} = X_{in}\beta + (\omega_{in}T)\beta^{**} + \varepsilon_{in} \quad (13)$$

$$X_{in}^{**} = \omega_{in}T, \quad \omega_{in} \sim N(0, 1) \quad (14)$$

$$T = \begin{bmatrix}
\sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\
\rho_{12}\sigma_2 & \sqrt{1-\rho_{12}^2} \cdot \sigma_2 & 0 & 0 \\
\rho_{13}\sigma_3 & \frac{\rho_{23}-\rho_{12}\rho_{13}}{\sqrt{1-\rho_{12}^2}} \cdot \sigma_3 & \sqrt{\sigma_3^2 - T_{13}^2 - T_{23}^2} & 0 \\
\rho_{14}\sigma_4 & \frac{\rho_{24}-\rho_{12}\rho_{14}}{\sqrt{1-\rho_{12}^2}} \cdot \sigma_4 & \frac{\rho_{34}\sigma_3\sigma_4 - T_{13}T_{14} - T_{23}T_{24}}{T_{33}} & \sqrt{\sigma_4^2 - T_{14}^2 - T_{24}^2 - T_{34}^2}
\end{bmatrix} \quad (15)$$

2. 測量方程式：

$$I_{iqn} = m(X_{iqn}^{**}; \alpha) + v_{iqn} = X_{iqn}^{**}\alpha + v_{iqn} = (\omega_{iqn}T)\alpha + v_{iqn}, v_{iqn} \sim N(0, \Sigma_v) \quad (16)$$

3. 選擇行為之機率方程式：

$$P(y_{in}, I_{in} | X_{in}, X_{in}^{**}; \beta, \beta^{**}, \lambda, \alpha, \Sigma_\varepsilon, \Sigma_\omega, \Sigma_v) \\ = \int \frac{e^{X_{in}\beta + (\omega_{in}T)\beta^{**}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\omega_{jn}T)\beta^{**}}} \cdot \prod_{s=1}^S \phi(\omega_{sn}) \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi\left(\frac{I_{iqn} - (\omega_{iqn}T)\alpha_q}{\sigma_{v_q}}\right) d\omega \quad (17)$$

2.5 內生潛在變數選擇模式 (ELVCM)

本研究之 ELVCM 將以 Walker^[6] 及 Walker 與 Ben-Akiva^[10] 之潛在變數選擇模式為基礎，並整合 SEM^[12,13]，於模式中進一步考慮潛在變數彼此間之層級式因果關係，故 ELVCM 與 GLVCM、HLVCM、LVCM 等皆相似，包含選擇機率方程式、結構方程式、及測量方程式等三部分。

假設 U_{in} 為線性、內生潛在變數 (X_{in}^{***}) 包含外生潛在變數 (ξ_{in}^{***}) 與內生潛在變數 (η_{in}^{***})，則 U_{in} 可改為 (18)。若結構方程式為線性， ξ_{in}^{***} 為獨立之多變量常態分配， η_{in}^{***} 之隨機誤差項為 $\omega_{in}^\eta \sim N(0, \Sigma_{\omega^\eta})$ ，在 X_{in} 已知的條件下， ξ_{in}^{***} 與 η_{in}^{***} 之分配函數與條件分配函數分別假設為 $f_1(\xi_{in}^{***})$ 、 $f_2(\eta_{in}^{***} | X_{in}, \xi_{in}^{***}; \lambda_\eta, \Sigma_{\omega^\eta})$ ，則 X_{in}^{***} 之結構方程式如式 (19) 至 (20) 所示，可知 η_{in}^{***} 同時受 X_{in} 與 ξ_{in}^{***} 的影響。測量方程式是說明 I_{iqn} 和 X_{iqn}^{***} 的關係，假設 I_{iqn} 為線性，在潛在變數條件下指標 I_{iqn} 之分配函數假設為 $f_3(I_{iqn} | X_{iqn}^{***}; \alpha, \Sigma_v)$ ，則可推導測量方程式如式 (21)。同基準 LVCM 假設誤差項 ($\omega_{in}, \varepsilon_{in}, v_{in}$) 彼此相互獨立， X_{in} 已知條件下 y_{in} 及 I_{in} 之聯合機率可以寫成式 (22)。

1. 結構方程式：

$$U_{in} = X_{in}\beta + X_{in}^{***}\beta^{***} + \varepsilon_{in} = X_{in}\beta + [\xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}] \beta^{***} + \varepsilon_{in} \quad (18)$$

$$\eta_{in}^{***} = h_\eta(X_{in}, \xi_{in}^{***}; \lambda_\eta) + \omega_{in}^\eta = X_{in}\lambda_\eta^X + \xi_{in}^{***}\lambda_\eta^\xi + \omega_{in}^\eta, \quad \omega_{in}^\eta \sim N(0, \Sigma_{\omega^\eta}) \quad (19)$$

$$\xi_{in}^{***} = \omega_{in}^\xi \sigma_\omega^\xi, \quad \omega_{in}^\xi \sim N(0, 1) \quad (20)$$

2. 測量方程式：

$$I_{iqn} = m(X_{iqn}^{***}; \alpha) + v_{iqn} = X_{iqn}^{***}\alpha + v_{iqn} = [X_{iqn}, \xi_{iqn}^{***}, \eta_{iqn}^{***}] \alpha + v_{iqn} \quad (21)$$

3. 選擇行為之機率方程式：

$$P(y_{in}, I_{in} | X_{in}, X_{in}^{***}; \beta, \beta^{***}, \lambda, \alpha, \Sigma_\varepsilon, \Sigma_\omega, \Sigma_v)$$

$$\begin{aligned}
 &= \iint_{\eta^{***} \xi^{***}} P(y_{in} | X_{in}, \xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}; \beta, \beta^{***}, \Sigma_\varepsilon) f_2(\eta_{in}^{***} | X_{in}, \xi_{in}^{***}; \lambda_\eta, \Sigma_{\omega^\eta}) \\
 &\quad \cdot f_1(\xi_{in}^{***}) f_3(I_{in} | \xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}; \alpha, \Sigma_v) d\eta^{***} d\xi^{***} \\
 &= \iint \frac{e^{X_{in}\beta + [\xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}] \beta^{***}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + [\xi_{jn}^{***}, \eta_{jn}^{***}] \beta^{***}}} \cdot \prod_{s=1}^S \frac{1}{\sigma_{\omega_s^\eta}} \phi\left(\frac{\eta_{isn}^{***} - X_{isn} \lambda_s^X - \xi_{isn}^{***} \lambda_s^\xi}{\sigma_{\omega_s^\eta}}\right) \\
 &\quad \cdot \phi(\xi_{in}^{***}) \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi\left(\frac{I_{iqn} - [\xi_{iqn}^{***}, \eta_{iqn}^{***}] \alpha_q}{\sigma_{v_q}}\right) d\eta^{***} d\xi^{***} \quad (22)
 \end{aligned}$$

2.6 模式校估

當模式中含有積分式，需對隨機項積分時，礙於計算上的限制，現今校估技術大多利用最大模擬概似法 (MSL) 來克服積分的困難。由前述之模式理論可知除了基礎的 MNL 外，本研究的 LVCM、HLVCM、GLVCM、ELVCM 等模式皆含有多維度積分式，考慮多維度積分的困難，故採用 MSL 進行模式校估^[20]。

MSL 之「模擬」概念是由隨機項的標準化分配中隨機抽取一值，與隨機項之標準差相乘，得到一隨機項之值，經多次抽取之後即可使所得的隨機項值符合先前之假設分配，而不必進行積分動作。MSL 估計出的參數具有一致性與漸進有效性，且為漸進常態分配，但由於將選擇機率的概似函數轉換為對數型態的關係，因此 MSL 的概似值是偏誤的，但隨著模擬次數的增加，偏誤就會變小，而模擬次數多寡必須視樣本大小而定，當樣本數愈多，模擬次數就必須愈多，估計值便能具有一致性^[20]。

由上述可知使用 MSL 時，將從誤差項 $\omega_{in} \sim N(0, 1)$ 、 $\omega_{in}^\xi \sim N(0, 1)$ 隨機抽取 R 次 ($\tilde{\omega}_{in}$ 、 $\tilde{\omega}_{in}^\xi$)，則 LVCM、HLVCM、GLVCM、ELVCM 等模式之模擬概似函數聯合機率 (式(8)、式(12)、式(17)、式(22)等四式) 將改寫如式(23)至(26)所示：

1. LVCM 之 $\tilde{P}(y_{in}, I_{in} | X_{in})$

$$= \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left(\frac{e^{X_{in}\beta + (\tilde{\omega}_{in}) \beta^\Delta}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\tilde{\omega}_{jn}) \beta^\Delta}} \cdot \prod_{q=1}^Q \phi(I_{iqn} - (\tilde{\omega}_{iqn}) \alpha_q) \right) \quad (23)$$

2. HLVCM 之 $\tilde{P}(y_{in}, I_{in} | X_{in})$

$$= \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left(\frac{e^{X_{in}\beta + (\tilde{\omega}_{in} \sigma_\omega) \beta^*}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\tilde{\omega}_{jn} \sigma_\omega) \beta^*}} \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi\left(\frac{I_{iqn} - (\tilde{\omega}_{iqn} \sigma_\omega) \alpha_q}{\sigma_{v_q}}\right) \right) \quad (24)$$

3. GLVCM 之 $\tilde{P}(y_{in}, I_{in} | X_{in})$

$$= \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left(\frac{e^{X_{in}\beta + (\tilde{\omega}_{in}T)\beta^{**}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + (\tilde{\omega}_{jn}T)\beta^{**}}} \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi \left(\frac{I_{iqn} - (\tilde{\omega}_{iqn}T)\alpha_q}{\sigma_{v_q}} \right) \right) \quad (25)$$

4. ELVCM 之 $\tilde{P}(y_{in}, I_{in} | X_{in})$

$$= \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \left(\frac{e^{X_{in}\beta + [\xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}]\beta^{***}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{jn}\beta + [\xi_{jn}^{***}, \eta_{jn}^{***}]\beta^{***}}} \cdot \prod_{s=1}^S \frac{1}{\sigma_{\omega_s^\eta}} \phi \left(\frac{\eta_{isn}^{***} - X_{isn}\lambda_s^X - \xi_{isn}^{***}\lambda_s^Z}{\sigma_{\omega_s^\eta}} \right) \right. \\ \left. \cdot \prod_{q=1}^Q \frac{1}{\sigma_{v_q}} \phi \left(\frac{I_{iqn} - [\xi_{in}^{***}, \eta_{in}^{***}]\alpha_q}{\sigma_{v_q}} \right) \right) \quad (26)$$

常用的隨機亂數有 pseudo-random 數列與 Halton 數列 (Halton sequence) 兩種，Pseudo-random 數列是指一般統計上的隨機亂數，而 Halton 數列則是藉由一連串的質數產生對應的等差級數，再將此等差級數對應至特定分配以產生亂數^[21]。在隨機亂數的抽取次數上，學者 Bhat^[18]認為以 pseudo-random 隨機抽取達 250 次時，已可校估出可信的參數估計值。而在隨機亂數的應用方法上，學者 Bhat^[21]以 2,000 個樣本應用於隨機混合羅機模式 (random-coefficients mixed logit model) 時，證實以 Halton 數列抽取 100 次估計到的參數精確度，遠大於以 1,000 次 pseudo-random 數列估計的參數精確度，而以 125~200 次 Halton 數列估計得到的參數相當於使用 2,000 次 pseudo-random 數列估計。

目前應用潛在變數之選擇模式相關研究中^[6-10]，僅學者 Walker^[6]及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]的研究指出當樣本數為 4,680 個，採 Halton 數列來模擬潛在變數選擇模式，至少需重複抽取 5,000 次至 20,000 次 Halton 數列進行模擬，模式校估參數才會穩定 (參數變化在 2 個標準誤內)。由於 LVCML、HLVCM、GLVCM、ELVCM 等模式之潛在隨機變數，能同時符合指標模式、潛在變數結構模式、以及選擇模式等聯立求解參數，故模擬所需的次數應較上述研究更多。

考慮應用潛在變數選擇模式所需的校估時間相當冗長，且模擬次數必須視樣本大小，以及模式指定型式複雜度 (包括聯立的參數個數與聯立方程式個數) 而定，因此本研究將先採兩階段校估法，找出模式較複雜之 GLVCM 潛在變數隨機誤差項結構，與 ELVCM 潛在變數層級式因果關係，和 AMOS 軟體^[23]所構建之 SEM 參數，兩者差異符合穩定情況最大的 Halton 數列模擬次數進行一階段校估，以求解 LVCML、HLVCM、GLVCM、ELVCM 等模式參數。為使估計較為精準、穩定，且期能縮短校估時間，本研究以 441 個樣本，經較複雜的 GLVCM 與 ELVCM 測試，應以 Halton 數列模擬 4,000 次參數才能達到穩定情況。

2.7 研究方法

由於潛在變數選擇模式之校估牽涉到認定與標準化的問題^[6,10]，故 ELVCM 中潛在變數彼此間之層級式因果關係不宜太複雜。回顧國外應用潛在變數選擇模式於旅客行為之相關研究^[6-10]，其研究主要將服務品質分為便利性與舒適性兩潛在變數考慮於行為模式中，而國內應用 SEM 探討國道客運旅客選擇行為之相關文獻^[12-15]，大多認為旅客知覺的服務品質、滿意度、及知覺價值等潛在變數，會直接或間接影響搭乘國道客運的意願。故本研究之四種潛在變數選擇模式將參考國內外相關文獻，以服務品質滿意度為主要探討的潛在變數；在可觀測的重要解釋部分，則以傳統的旅行時間、票價、個人社經或旅次特性特定變數等考慮於選擇模式中。

彙整各研究^[4-10,12-15]將乘客知覺的服務品質滿意度分為便利性、舒適娛樂性（包括有形服務設備）、及乘客互動度（包括安全性與服務態度等）等三構面，經修改後整理各潛在變數之衡量問項如表 1 所示，各問項係採用 Likert 七點量表，各尺度定義為「1」表非常不滿意；「2」表不滿意；「3」表有點不滿意；「4」表普通；「5」表有點滿意；「6」表滿意；「7」表非常滿意。

本研究實證分析資料蒐集方式以顯示性偏好法設計問卷，希望從旅客以往的經驗或認知中，了解其選擇行為。問卷共包含三個部分，第一部分為旅次資料，包括購票方式、旅次目的、票價金額與種類、費用來源、各家客運之感受旅行時間等問項。由於各客運公司實際旅行時間資料不易蒐集，且差異不大，故各家客運之旅行時間由受訪者根據經驗與主觀認知來填答，故稱為感受旅行時間；第二部分為國道客運服務品質滿意度調查，經參考國內外應用潛在變數之行為模式相關文獻^[4-10,12-15]，彙整服務品質滿意度為便利性、舒適娛樂性、及乘客互動度等三個潛在變數；第三部分為個人基本資料，包括受訪者之社經特性，包含性別、職業、年齡、個人所得（或零用錢）、家庭所得等問項。本研究以臺灣地區國道客運北高線旅客為母體，採擇基抽樣法，總共調查 534 位旅客，扣除因時間不夠或填答不完全（未填答三家客運公司以上之服務品質滿意度）等不完整問卷，有效問卷共 441 份，有效率為 82.58%。由於無法得知每家客運公司公開客觀之運量資料，因此本研究無法按照各公司實際的市場占有率進行抽樣，為考量樣本數對模式之影響，各公司均抽取相近的樣本，此乃本研究之限制。若未來有實際的市場占有率資料，可在目標函數中以權數進行修正。

本研究利用驗證性因素分析 (confirmatory factor analysis, CFA) 進行潛在變數衡量模式之檢測，而 CFA 主要是確認觀察變數是否能將潛在變數精確地衡量出來。依據 Hair 等人^[24]的建議值，若各問項因素負荷量達 0.5 以上，且達統計之顯著水準 ($t > 1.96$, $p < 0.05$)，則達到理想的模式內部適合度。潛在變數與其所對應之所有衡量問項間所萃取的總解釋變異量，是計算各觀測問項對該潛在變數的解釋能力，依 Fornell 與 Larcker^[25]建議，如果解釋變異量達到 0.5 以上，則稱為具有收斂效度。最後，Cronbach's α 係數常用於區間尺度 (interval scale) 量表之信度量測，在實務上亦為最普遍應用之衡量方式^[12]。本研究問卷之

量表係為區間尺度，為量測量表之內部一致性，採用 Cronbach's α 係數衡量同一構面下，各觀察變數間之一致性。整理各潛在變數之驗證性因素分析如表 1 所示，可知三個潛在變數與 9 個可觀測問項間之因素負荷皆大於 0.87、特徵值皆為 2.346 以上、總解釋變異量皆達 78.2% 以上、 α 信度值為 0.86 以上，顯示本研究問卷設計之 9 個問項能將服務品質滿意度潛在變數充份地衡量出來。

表 1 潛在變數因素分析彙整

服務品質滿意度	衡量問項 (可觀測指標)	因素負荷	特徵值	總解釋變異%	α 信度
便利	車輛班次密集度	0.901	2.422	80.731	0.8804
	買票或訂票之方便程度	0.909			
	上下車停靠站多寡	0.885			
舒適娛樂	提供車內及場站茶水、飲料、點心、紙巾	0.901	2.400	79.997	0.8749
	車內電視之提供	0.900			
	車內與場站書報雜誌之提供	0.882			
乘客互動	客運公司之行車安全紀錄	0.872	2.346	78.205	0.8604
	司機之服務態度	0.906			
	場站服務人員之態度	0.875			

由於 SEM 大都應用於分析潛在變數彼此間之層級式因果關係，因此本研究之 GLVCM 與 ELVCM，將先以 AMOS 軟體^[23] 構建便利、舒適娛樂、乘客互動等三個服務品質滿意度變數隨機誤差項之關係，並將旅行時間、票價、個人社經或旅次特性特定變數等變數，納入便利、舒適娛樂、乘客互動等服務品質滿意度變數之 SEM 一併考量，再將 SEM 之隨機誤差項關係與層級式因果關係，分別應用於 GLVCM 與 ELVCM。

三、實證結果分析

3.1 基本資料與旅次特性分析

根據受訪者所填答的基本資料與旅客旅次特性資料，進行各家客運公司與基本資料及旅客旅次特性資料之交叉分析如表 2 與表 3 所示，以明確了解受訪者的基本特性，作為後續模式社經變數指定特定變數或虛擬變數之依據。依據交叉分析結果，說明如下：

1. 男性較偏好搭乘阿羅哈客運、女性較偏好搭乘統聯客運；
2. 年齡 40 歲以上較偏好搭乘國光客運、年齡 30 歲以下者較偏好搭乘統聯客運；
3. 職業為學生者較偏好搭乘統聯客運、職業為軍公教者較偏好搭乘國光客運、其餘就業人士較偏好搭乘和欣或阿羅哈客運；

4. 個人所得在 1 萬元以下者較偏好搭乘統聯客運、所得在 3 萬元以上者較偏好搭乘和欣或阿羅哈客運；
5. 公務旅次者較偏好搭乘國光或阿羅哈客運；
6. 到車站才決定本次搭乘客運公司者較偏好搭乘國光客運；
7. 購票票種為全票者較偏好搭乘和欣或阿羅哈客運，票種為優惠票者偏好搭乘國光或統聯客運，票種為學生票、軍優票或來回票者偏好搭乘和欣或阿羅哈客運。

表 2 受訪者之基本資料統計表

客運公司旅客		國光 旅客	統聯 旅客	和欣 旅客	阿羅哈 旅客	合計
性別	男性	63	55	61	69	248
	女性	46	53	49	45	193
年齡	18 歲以下	3	4	2	2	11
	19-29 歲	52	81	67	65	265
	30-39 歲	21	17	25	29	92
	40-49 歲	18	3	14	14	49
	50-59 歲	13	3	2	3	21
	60 歲以上	2	0	0	1	3
職業	學生	24	41	30	34	129
	軍人	10	13	11	6	40
	公教人員	16	6	5	11	38
	農林漁牧、工、商、服務、自由業	45	33	55	52	185
	待業	4	7	2	1	14
	家管	8	1	2	5	16
	退休	1	0	1	0	2
	其他	1	7	4	5	17
個人所得	1 萬元以下	27	40	27	24	118
	1-3 萬元	35	33	33	40	141
	3-5 萬元	29	28	35	33	125
	5-7 萬元	14	5	13	11	43
	7-9 萬元	3	0	2	3	8
	9 萬元以上	1	2	0	3	6
合計		109	108	110	114	441

表 3 受訪者之旅次資料統計表

客運公司旅客		國光 旅客	統聯 旅客	和欣 旅客	阿羅哈 旅客	合計
社經特性						
旅次 目的	公務	28	19	16	29	92
	非公務	81	89	94	85	349
購票 方式	事先購票	14	16	20	19	69
	事先決定、現場購票	61	74	73	74	282
	車站臨時決定	34	18	17	21	90
票種	全票	7	9	62	43	121
	半票	1	0	0	0	1
	學生票	0	0	22	33	55
	軍優票	3	3	8	7	21
	來回票	0	1	18	26	45
	套票	1	0	0	5	6
	優惠票	97	95	0	0	192
費用 來源	公費	15	9	6	18	48
	自費	91	90	99	95	375
	部分公費、部分自費	3	9	5	1	18
優惠 時段	統聯與國光均優惠	101	94	99	86	380
	僅統聯有優惠	1	0	1	10	12
	全部無優惠	7	14	10	18	49
合計		109	108	110	114	441

3.2 個體選擇模式 (MNL) 結果分析

由於本研究主要目的為建構臺灣地區國道客運北高線旅客之客運公司選擇行為模式，故應先構建 DCM 作為後續各種潛在變數選擇模式之比較基礎。而 DCM 中以 MNL 模式應用最廣泛^[20,21]，因此將 MNL 之解釋變數定義與其預期符號彙整如表 4 所示。

(一) 方案虛擬常數

此變數即為替選方案特定常數，若為該替選方案時其值為 1，其餘為 0，且各方案之校估參數值尚包含模式解釋變數未觀察到的部分。本研究所界定之替選方案個數有 4 個，將以阿羅哈為基礎，因此方案虛擬常數將包含國光虛擬常數、統聯虛擬常數、和欣虛擬常數等三個變數，各變數之符號並無相關先驗知識可判斷符號應為正、或負值。

表 4 MNL 解釋變數彙整表

變數名稱	變數意義	預期符號
方案虛擬常數	以阿羅哈客運為基礎，故指定國光虛擬常數、統聯虛擬常數、和欣虛擬常數等三個變數。	＋、－
票價	各家票價乃依據票種、搭車時間、職業所推得 (單位為 100 元)。	－
感受旅行時間	根據受訪者經驗與主觀認知填答各家感受時間 (單位為小時)。	－
男性 阿羅哈虛擬變數	若為男性且選擇阿羅哈客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
年齡 40 歲以上 國光特定變數	若年齡大於 40 歲以上且選擇國光客運者其值為年齡/10 (單位為 10 歲)，其餘為 0。	＋
所得 3 萬元以上和欣或 阿羅哈特定變數	若個人所得 3 萬元以上且選擇和欣或阿羅哈客運者其值為所得/10000 (單位為萬元)，其餘為 0。	＋
軍公教 國光虛擬變數	若職業為軍公教且選擇國光客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
一般就業人士和欣或 阿羅哈虛擬變數	若職業為除軍公教外就業人士且選擇和欣或阿羅哈客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
公務旅次 國光虛擬變數	若旅次目的為公務旅次且選擇國光客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
臨時決定公司 國光虛擬變數	若購票方式為臨時決定搭乘公司且選擇國光客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
票種全票和欣或阿羅哈 虛擬變數	若票種為全票且選擇和欣或阿羅哈客運者其值為 1，其餘為 0。	＋
非優惠時段 阿羅哈虛擬變數	若搭車時間為非優惠時段且選擇阿羅哈客運者其值為 1，其餘為 0。	＋

(二) 方案屬性變數

此變數即為各替選方案可觀測到的服務屬性，包含票價與感受旅行時間，其中票價需檢驗受訪者本次搭乘公司票價種類與搭車時間之合理性。感受旅行時間則是根據受訪者經驗與主觀認知填答而來。由於當票價與感受旅行時間愈高(長)，會產生負效用結果，效用會降低，因此根據先驗知識判斷票價與感受旅行時間的參數值應為負。

(三) 旅客社經與旅次特性變數

考慮前述旅客社經與旅次資料分析內容，本研究將設定男性阿羅哈虛擬變數、年齡 40 歲以上國光特定變數、個人所得 3 萬元以上和欣或阿羅哈特定變數、軍公教國光虛擬變數、除軍公教外就業人士和欣或阿羅哈虛擬變數、公務旅次國光虛擬變數、臨時決定公司國光虛擬變數、票種全票和欣或阿羅哈虛擬變數、非優惠時段阿羅哈虛擬變數等九個特定變數或虛擬變數。由於各變數之設定係考慮旅客社經與旅次特性之可能偏好傾向，應會產生正效用，故根據先驗知識判斷各旅客社經與旅次特性變數之預期符號應為正值。

本研究之 MNL 係利用 Gauss 軟體^[26]，以 MSL 法校估模式參數，所得結果如表 6 所示。由於可觀測解釋變數中因男性阿羅哈虛擬變數、所得 3 萬元以上和欣或阿羅哈特定變數、軍公教國光虛擬變數、一般就業人士和欣或阿羅哈虛擬變數等四變數符號雖與預期相同，但此四變數之 t 值在顯著水準 10% 下並不顯著異於零，因此刪除此四變數，模式中除方案虛擬常數外，其他解釋變數在顯著水準 5% 下皆顯著異於零，且符號皆與預期相同，模式之概似函數值為 -506.663、概似比指標達 0.140、修正概似比指標達 0.138，顯示 MNL 模式解釋能力良好。

3.3 LVCM 結果分析

本研究之基準 LVCM 在潛在變數模式部分，將以前述之驗證性因素分析結果為基礎，分別以兩階段校估與一階段校估方法，構建基準 LVCM 並進行比較分析。根據 Hair 等人^[24]指出 χ^2 (Chi-Square) 檢定會因樣本數過大而低估檢定力，故應改以 χ^2/df 值為模式配適度 (goodness of fit) 主要評估指標。此外，一般文獻大都認為 χ^2/df 值最好小於 5，GFI (goodness of fit index)、AGFI (adjusted goodness of fit index)、NFI (normal fit index)、CFI (comparative fit index) 等值應大於 0.9，RMR (root mean square residual) 值需小於 0.05^[11-14]。彙整基準 LVCM 之結構方程式配適度指標如表 5，其中大部分的配適度指標皆未符合上述的要求。此乃因本研究考量以往潛在變數選擇模式的相關研究^[6-7,10]對潛在變數的結構模式假設不盡相同，且彼此並無共同基礎可比較模式之優劣，故假設潛在變數為獨立之標準常態分配，以構建基準 LVCM 作為後續 HLVCM、GLVCM、ELVCM 等模式之比較基礎，由表 5 可知基準 LVCM 假設潛在變數為獨立之標準常態分配，並未能反應旅客知覺的服務品質滿意度彼此間的關係。

整理本研究之基準 LVCM 架構如圖 1 所示，兩階段校估模式將以上述校估參數為已知條件代入選擇模式中進行第二階段參數校估，校估結果如表 6 所示，可知假設潛在變數為獨立之標準常態分配時，未聯立求解之潛在變數對選擇模式的影響並不顯著。本研究之一階段校估 LVCM 模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$) 遠低於兩階段模式與 MNL，乃因 LVCM 之 $LL(\beta \& \beta^*)$ 包含選擇機率、潛在變數分配函數、以及指標分配函數等三部分，其目標函數是以此三部分連乘之對數函數最大為目標，計算基礎與傳統 MNL 僅考慮選擇機

率最大不同，且 $LL(\beta \& \beta^*)$ 值的大小與 MNL 選擇機率並無一定的關係。因傳統用於衡量 MNL 之概似函數值或概似比指標，計算基準與一階段校估法之 LVCM 並不相同，故不適用於判斷 LVCM 相關模式適合度與解釋能力好壞^[6-7,10]。本研究將依據 Walker^[6]、Ashok 等人^[7]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]等研究，以潛在變數選擇模式各變數之 t 值顯著性，及隨著模式複雜度增加的參數個數與 $LL(\beta \& \beta^*)$ 減少的變化情況，作為判斷模式解釋能力優劣之依據。

表 5 LVCM 之結構方程模式配適度指標彙整表

χ^2	df	χ^2/df	GFI	AGFI	NFI	CFI	RMR
4886.4	36	135.732	0.583	0.479	0.636	0.638	1.119

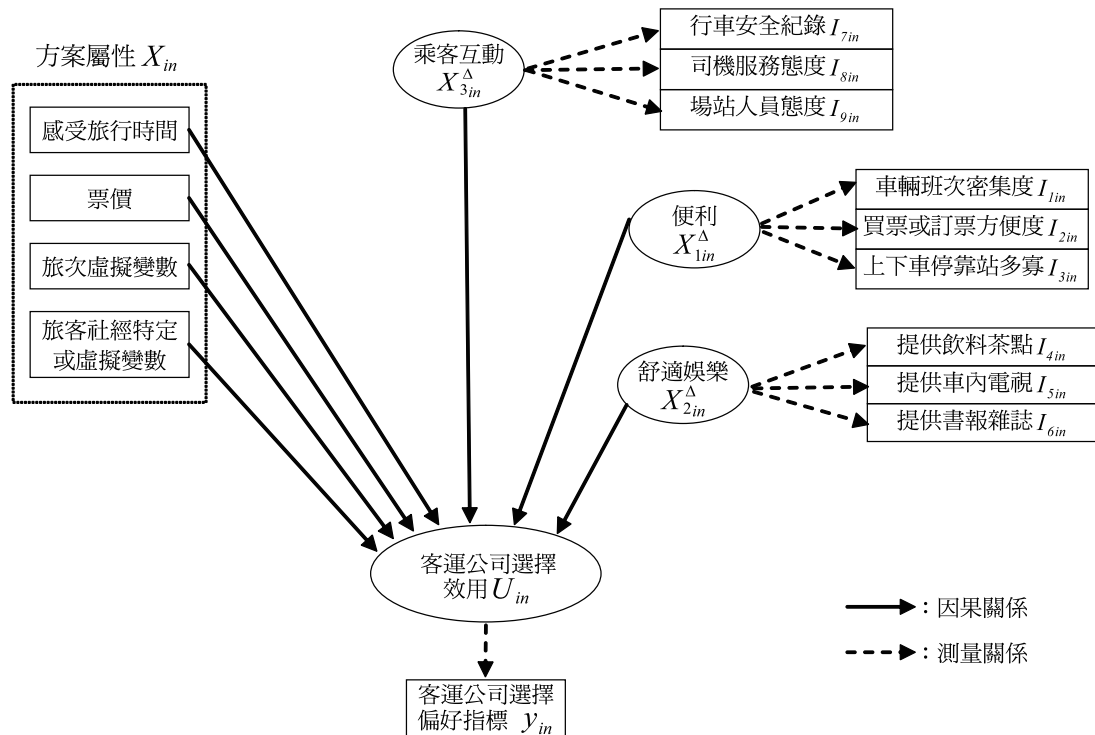


圖 1 LVCM 架構圖

由表 6 可知一階段校估之 LVCM 中，潛在變數結構模式與 SEM 校估結果相近；選擇模式中票價與旅行時間之係數值與參數顯著性，雖較兩階段模式與 MNL 低，但是一階段校估之 LVCM 之便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數，卻顯著而且正向影響旅客對國道客運的選擇行為，故旅客對國道客運選擇行為模式應以一階段校估方式，考

慮便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數較佳，因此本研究將以一階段校估之基準 LVCM，作為後續 HLVCN、GLVCN、ELVCN 等模式之比較基礎。

表 6 MNL 與 LVCM 校估結果比較表

		變數名稱 (單位)	MNL 係數(t 值)	兩階段 LVCM 係數(t 值)	一階段 LVCM 係數(t 值)
選擇 模式		國光虛擬常數	-0.9718 (-1.838)	-0.9721 (-1.828)	0.1573 (0.255)
		統聯虛擬常數	-0.4344 (-0.801)	-0.4312 (-0.789)	0.5910 (0.930)
		和欣虛擬常數	0.1223 (0.740)	0.1216 (0.729)	0.2265 (1.118)
		票價 (百元)	-0.4742 (-2.401)	-0.4744 (-2.389)	-0.3394 (-1.505)
		感受旅行時間 (小時)	-1.3862 (-3.928)	-1.3932 (-3.805)	-0.4675 (-1.028)
		年齡 40 歲以上國光特定變數 (10 歲)	0.2681 (4.179)	0.2695 (4.033)	0.2709 (3.372)
		公務旅次國光或阿羅哈虛擬變數	0.7658 (3.013)	0.7695 (2.963)	0.7959 (2.631)
		臨時決定搭乘公司國光虛擬變數	1.1216 (3.902)	1.1276 (3.786)	1.4921 (4.087)
		票種全票和欣或阿羅哈虛擬變數	2.6396 (8.491)	2.6510 (7.823)	2.7173 (7.448)
		非優惠時段阿羅哈虛擬變數	0.7519 (2.269)	0.7540 (2.250)	0.8364 (2.058)
		便利滿意度潛在變數	-	0.0445 (0.059)	1.1843 (6.721)
		舒適娛樂滿意度潛在變數	-	0.0599 (0.082)	0.4325 (3.075)
		乘客互動樂滿意度潛在變數	-	0.1172 (0.165)	0.8492 (5.588)
潛在 變數 測量 模式	便利 性	車輛班次密集度指標 α_1	-	1.244 (37.335)	1.2658 (33.568)
		買票或訂票方便程度指標 α_2	-	1.219 (36.863)	1.2448 (33.043)
		上下車停靠站多寡指標 α_3	-	1.221 (36.907)	1.2577 (33.455)
	舒適 娛樂 性	車內及場站茶點之提供指標 α_4	-	1.36 (39.579)	1.3019 (40.465)
		車內電視之提供指標 α_5	-	1.345 (39.319)	1.2830 (39.576)
		提供車內及場站書報雜誌指標 α_6	-	1.255 (37.731)	1.1983 (36.776)
	乘客 互動 度	客運公司行車安全紀錄指標 α_7	-	1.203 (36.475)	1.1792 (34.379)
		司機服務態度指標 α_8	-	1.249 (37.357)	1.1818 (34.657)
		場站服務人員態度指標 α_9	-	1.137 (35.149)	1.1020 (32.604)
$LL(\beta \& \beta^*)$			-506.663	-506.647	-27929.7207

3.4 HLVCN 結果分析

本研究欲探討的 HLVCN 將先以兩階段校估法獲得潛在變數模式部分參數，作為一階段校估法之起始值，構建 HLVCN 並與基準 LVCM 進行比較分析。彙整 HLVCN 之結構方程式配適度指標如表 7，其中大部分的配適度指標皆未符合 χ^2/df (值應小於 5)、RMR (值應小於 0.05)、GFI、AGFI、NFI、CFI 等 (值應大於 0.9) 之要求^[11-14]，故 HLVCN 僅考慮個體品味差異是不夠的。

表 7 HLVCN 之結構方程模式配適度指標彙整表

χ^2	df	χ^2/df	GFI	AGFI	NFI	CFI	RMR
3662.8	27	135.659	0.715	0.525	0.687	0.688	1.115

因 HLVCN 與基準 LVCN 二者架構圖相同故不再贅述。由表 10 可知 HLVCN 與基準 LVCN 除測量指標之因素負荷值因兩模式假設之尺度不同而有差異外，兩模式之選擇模式係數值與參數顯著性皆相近。且 HLVCN 之便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數之變異數參數皆顯著異於零，顯示便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數，應具有個體品味差異之情況。比較基準 LVCN 與 HLVCN 之模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$) 可知，HLVCN 之 $LL(\beta \& \beta^*)$ 並未隨著模式複雜度與參數個數增加而降低，反而略為增加，依據 Walker^[6]、Ashok 等人^[7]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]等研究可知，本研究之 HLVCN 解釋能力優於基準 LVCN。

3.5 GLVCN 結果分析

彙整 GLVCN 之結構方程模式配適度指標如表 8 所示，其中大部分的配適度指標皆符合前述要求，故同時考慮潛在變數異質性與相關性之 GLVCN，具有不錯的解釋能力。整理 GLVCN 架構如圖 2 所示，將便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數之變異數矩陣參數 (TT')，利用前述式 (15) 換算 GLVCN 潛在變數結構模式之 Cholesky 分解下三角矩陣 T ，求得結果如表 9，並以該參數為起始值代入選擇模式中進行 GLVCN 之一階段校估如表 10 所示。

由表 10 可知 GLVCN 模式中，便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度係數值，與 HLVCN 與 LVCN 模式三個潛在變數係數值差異不大，但 GLVCN 模式中三個潛在變數參數之 t 值卻較 HLVCN 與 LVCN 模式為低，此乃因 GLVCN 模式同時考慮異質性與相關性，變異數參數之標準誤會變大，致使選擇模式中滿意度潛在變數顯著性降低。由 GLVCN 中矩陣 T 之係數 t 值顯著性可知，便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數，具有個體品味差異與相關之情況，且此三個服務品質滿意度變數正向影響旅客對國道客運的選擇行為，故旅客對國道客運選擇行為模式應同時考慮便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數之個體品味差異與相關情況較佳。比較基準 LVCN、HLVCN、GLVCN 等三個模式之模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$) 可知，GLVCN 之 $LL(\beta \& \beta^*)$ 並未隨著模式複雜度與參數個數增加而降低，反而呈現增加之情況，依據 Walker^[6]、Ashok 等人^[7]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]等研究可知本研究之 GLVCN 解釋能力優於 HLVCN 與 LVCN，且 HLVCN 優於 LVCN，顯示若潛在變數假設為外生變數時，應以同時考慮潛在變數之個體品味差異與相關情況較佳。

表 8 GLVCM 之結構方程模式配適度指標彙整表

χ^2	df	χ^2/df	GFI	AGFI	NFI	CFI	RMR
101.955	24	4.248	0.988	0.977	0.991	0.993	0.031

表 9 GLVCM 之潛在變數 Cholesky 分解下三角矩陣 T 換算結果表

潛在變數結構模式變異數矩陣 參數項目	變異數 σ_{ij}^2	相關係數 ρ_{ij}	Cholesky 分解矩陣 T_{ij}
便利滿意度結構模式變異數	1.67	1	1.292
舒適娛樂滿意度結構模式變異數	1.93	1	0.819
乘客互動滿意度結構模式變異數	1.51	1	0.316
便利與舒適娛樂結構模式共變異數	1.45	0.81	1.123
舒適娛樂與乘客互動結構模式共變異數	1.50	0.88	0.263
便利與乘客互動結構模式共變異數	1.48	0.93	1.144

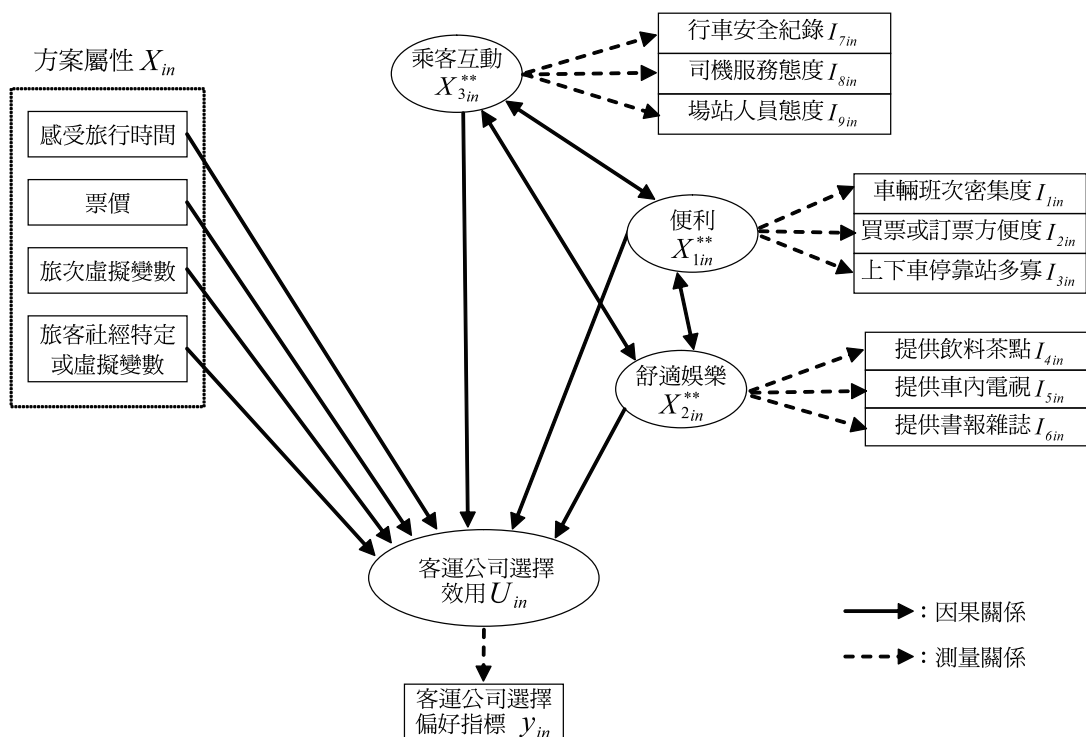


圖 2 GLVCM 架構圖

表 10 外生 LVCM 校估結果彙整表

	變數名稱 (單位)	LVCM 係數(t 值)	HLVCM 係數 (t 值)	GLVCM 係數 (t 值)
選擇模式	國光虛擬常數	0.1573 (0.255)	0.2499 (0.384)	1.5439 (2.073)
	統聯虛擬常數	0.5910 (0.930)	0.5682 (0.853)	2.0497 (2.688)
	和欣虛擬常數	0.2265 (1.118)	0.2085 (0.992)	0.4005 (1.657)
	票價 (百元)	-0.3394 (-1.505)	-0.3445 (-1.465)	-0.1619 (-0.624)
	感受旅行時間 (小時)	-0.4675 (-1.028)	-0.6178 (-1.032)	-0.0478 (-0.065)
	年齡 40 歲以上國光特定變數 (10 歲)	0.2709 (3.372)	0.2821 (3.325)	0.2461 (2.451)
	公務旅次國光或阿羅哈虛擬變數	0.7959 (2.631)	0.8758 (2.754)	0.9825 (2.682)
	臨時決定搭乘公司國光虛擬變數	1.4921 (4.087)	1.5202 (3.959)	1.4974 (3.465)
	票種全票和欣或阿羅哈虛擬變數	2.7173 (7.448)	2.7802 (7.384)	2.9554 (6.984)
	非優惠時段阿羅哈虛擬變數	0.8364 (2.058)	0.7869 (1.860)	1.0918 (2.348)
	便利滿意度潛在變數	1.1843 (6.721)	1.2271 (7.224)	1.8446 (1.765)
	舒適娛樂滿意度潛在變數	0.4325 (3.075)	0.3591 (2.911)	0.4000 (0.547)
	乘客互動樂滿意度潛在變數	0.8492 (5.588)	0.6854 (4.264)	0.7231 (0.417)
潛在變數測量模式	車輛班次密集度指標 α_1	1.2658 (33.568)	1.00 (-)	1.00 (-)
	買票或訂票方便程度指標 α_2	1.2448 (33.043)	0.9881 (29.866)	1.0054 (41.156)
	上下車停靠站多寡指標 α_3	1.2577 (33.455)	0.9798 (28.122)	0.9567 (37.152)
	車輛班次密集度指標變異數 v_1^2	-	0.7152 (21.846)	0.7083 (24.406)
	買票或訂票方便程度指標變異數 v_2^2	-	0.5869 (22.220)	0.5720 (24.676)
	上下車停靠站多寡指標變異數 v_3^2	-	0.8840 (22.995)	0.8704 (26.024)
	車內及場站茶點之提供指標 α_4	1.3019 (40.465)	1.00 (-)	1.00 (-)
	車內電視之提供指標 α_5	1.2830 (39.576)	0.9879 (27.206)	1.0225 (39.146)
	提供車內及場站書報雜誌指標 α_6	1.1983 (36.776)	0.9242 (25.778)	0.8870 (34.060)
	車內及場站茶點之提供指標變異數 v_4^2	-	0.8034 (21.262)	0.8034 (24.710)
	車內電視之提供指標變異數 v_5^2	-	0.8090 (21.582)	0.7219 (24.173)
	提供車內及場站書報雜誌指標變異數 v_6^2	-	0.9548 (23.101)	0.9888 (26.131)
	客運公司行車安全紀錄指標 α_7	1.1792 (34.379)	1.00 (-)	1.00 (-)
	司機服務態度指標 α_8	1.1818 (34.657)	1.0189 (17.207)	1.0464 (38.978)
	場站服務人員態度指標 α_9	1.1020 (32.604)	0.9528 (16.713)	0.9388 (35.591)
	客運公司行車安全紀錄指標變異數 v_7^2	-	0.9769 (22.520)	0.8714 (26.649)
	司機服務態度指標變異數 v_8^2	-	0.5862 (22.777)	0.6600 (25.969)
	場站服務人員態度指標變異數 v_9^2	-	0.8660 (22.948)	0.8371 (26.604)
潛在變數結構模式	便利滿意度結構模式變異數 ω_1^2 、 T_1^{**}	-	1.7275 (15.960)	1.4455 ^{**} (36.438)
	舒適娛樂滿意度結構模式變異數 ω_2^2 、 T_2^{**}	-	1.7853 (16.126)	0.6390 ^{**} (20.920)
	乘客互動滿意度結構模式變異數 ω_3^2 、 T_3^{**}	-	1.2740 (10.716)	0.1664 ^{**} (3.955)
	便利與舒適娛樂結構模式共變異數 T_{12}^{**}	-	-	1.2535 ^{**} (35.648)
	舒適娛樂與乘客互動結構模式共變異數 T_{23}^{**}	-	-	0.2190 ^{**} (8.5860)
	便利與乘客互動結構模式共變異數 T_{13}^{**}	-	-	1.2696 ^{**} (36.264)
	模擬對數概似函數值 $LL(\beta \& \beta^*)$	-27929.7207	-27632.5749	-24349.1535

註：^{**}表示 GLVCM 潛在變數結構模式之 Cholesky 分解下三角矩陣 T_{ij} 。

3.6 ELVCM 結果分析

彙整相關文獻^[6-7,10-17] 假設服務品質滿意度會直接或間接影響國道客運的選擇行為，票價、旅行時間、旅客社經特性與旅次特性等變數則會直接或間接影響潛在變數或國道客運的選擇行為。整理 ELVCM 之結構方程模式配適度指標如表 11 所示，其中除 RMR 較 0.05 建議值高一點，其他各項配適度指標皆符合前述的要求，故本研究所構建的 ELVCM 結構方程模式之層級式因果關係具有不錯的解釋能力。另以潛在變數之層級式因果關係為基礎，整理本研究之 ELVCM 架構如圖 3 所示，由於乘客互動滿意度與便利滿意度、舒適娛樂滿意度間具有因果關係，故假設乘客互動滿意度將會透過便利滿意度與舒適娛樂滿意度而影響旅客選擇行為，亦即假設乘客互動滿意度將間接影響旅客選擇行為，而便利性滿意度與舒適娛樂滿意度將直接影響旅客選擇行為。此外依據 Walker^[6]、Ashok 等人^[7]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10] 等研究，假設旅行時間與票價除會直接影響旅客選擇行為外，亦會透過影響乘客互動滿意度與舒適娛樂滿意度，間接影響旅客選擇行為。

表 11 ELVCM 之結構方程模式配適度指標彙整表

χ^2	df	χ^2/df	GFI	AGFI	NFI	CFI	RMR
166.128	41	4.052	0.983	0.973	0.986	0.990	0.056

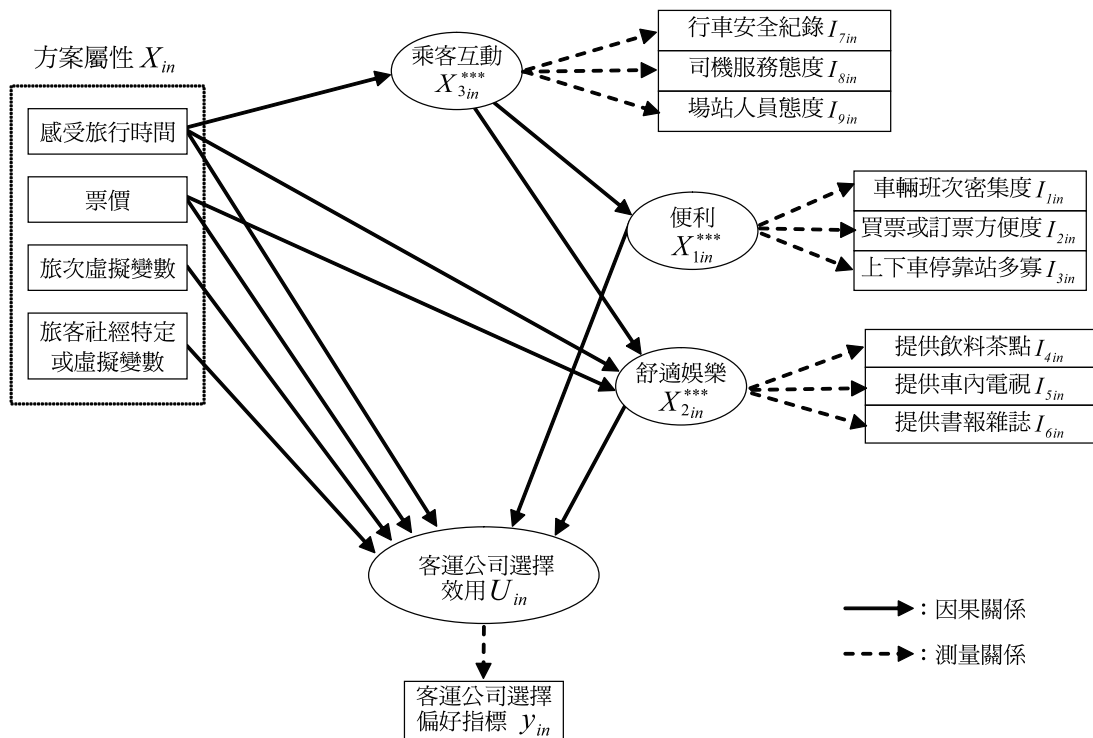


圖 3 ELVCM 架構圖

整理 ELVCM 校估結果如表 12 所示，可知旅客對各客運公司之便利性滿意度與舒適娛樂滿意度，將直接影響旅客對客運公司的選擇行為，且由係數值可知，便利性滿意度對選擇行為之影響效果較舒適娛樂滿意度強，而乘客互動滿意度則需透過便利性滿意度與舒適娛樂滿意度，間接影響旅客對各客運公司的選擇行為。由前述分析可知若潛在變數假設為外生變數時，應以同時考慮潛在變數之個體品味差異與相關情況較佳。故比較本研究之 GLVCM 與 ELVCM 之模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$) 可知，ELVCM 之 $LL(\beta \& \beta^*)$ 並未隨著模式複雜度與參數個數增加而降低，反而呈現增加之情況，由此可知本研究之 ELVCM 對於旅客選擇客運公司之解釋能力優於 GLVCM、HLVCM、LVCM，且 GLVCM 之解釋能力優於 HLVCM 與 LVCM，顯示旅客行為資訊較豐富之 ELVCM 最符合國道客運旅客之選擇行為。

3.7 敏感性分析

由前述分析可知一階段之 ELVCM，較能適切地反應旅客對各客運公司服務品質滿意度彼此間層級式因果關係，且較能掌握豐富的旅客搭乘行為資訊。由於 Walker^[6]、Ashok 等人^[7]，及 Walker 與 Ben-Akiva^[10]、及本研究皆已證實 LVCM 較 MNL 佳，且 ELVCM 對於旅客選擇客運公司之解釋能力優於 GLVCM、HLVCM、LVCM，顯示旅客行為資訊較豐富之 ELVCM 最符合國道客運旅客之選擇行為。為了解各客運公司若反應調漲票價、或改善旅行時間兩策略，對乘客的流失或吸引之影響，將旅客行為資訊較豐富之 ELVCM 及應用最廣泛之 MNL 進行敏感性分析如表 13 所示，經比較 MNL 與 ELVCM 執行各家公司不同策略預測之市場占有率變化情況，發現 MNL 皆明顯高估各家客運公司調高票價或改善旅行時間，對乘客的流失或吸引之影響力。

除此之外，由 ELVCM 預測各家公司執行不同策略對乘客的流失或吸引情況，可知調高票價在 100 元以內對國道客運各公司的乘客流失影響並不大，而改善旅行時間對吸引乘客搭乘的影響較大，且以阿羅哈公司改善旅行時間影響效果最強。因此，各公司應審慎評估目前國道客運北高線之行駛時間，是否可透過改善車輛性能、減少停靠站、避免行經市區擁擠路段等措施，進而達到減少旅行時間，以吸引旅客搭乘。

綜合考慮各家公司同時執行「調漲票價 100 元」與「改善旅行時間 15 分」兩策略，對乘客的流失或吸引影響情況，可知 MNL 預測各家公司同時執行上述兩策略，將產生負面影響而導致策略分析結果為將造成乘客流失之情況；但以 ELVCM 預測各家公司同時執行上述兩策略，將產生正面影響，而策略預測分析結果為將吸引乘客的情況，且以國光公司同時執行上述兩策略之乘客吸引力最強。由此可知 MNL 將因高估參數而導致策略分析之偏誤，進而使公司決策錯誤，而影響公司利益與未來發展。

表 12 GLVCM 與 ELVCM 校估結果比較表

	變數名稱 (單位)	GLVCM 係數(t 值)	ELVCM 係數(t 值)
選擇模式	國光虛擬常數	1.5439 (2.073)	1.3651 (1.929)
	統聯虛擬常數	2.0497 (2.688)	1.8166 (2.478)
	和欣虛擬常數	0.4005 (1.657)	0.3209 (1.392)
	票價 (百元)	-0.1619 (-0.624)	-0.2349 (-0.847)
	感受旅行時間 (小時)	-0.0478 (-0.065)	-0.0992 (-0.175)
	年齡 40 歲以上國光特定變數 (10 歲)	0.2461 (2.451)	0.2051 (2.231)
	公務旅次國光或阿羅哈虛擬變數	0.9825 (2.682)	0.9215 (2.663)
	臨時決定搭乘公司國光虛擬變數	1.4974 (3.465)	1.5478 (3.758)
	票種全票和欣或阿羅哈虛擬變數	2.9554 (6.984)	2.8498 (6.967)
	非優惠時段阿羅哈虛擬變數	1.0918 (2.348)	1.0715 (2.343)
	便利滿意度潛在變數	1.8446 (1.765)	1.8019 (3.918)
	舒適娛樂滿意度潛在變數	0.4000 (0.547)	0.7753 (1.742)
	乘客互動滿意度潛在變數	0.7231 (0.417)	-
潛在變數測量模式	便利性	車輛班次密集度指標 α_1	1.00 (-)
		買票或訂票方便程度指標 α_2	1.0054 (41.156)
		上下車停靠站多寡指標 α_3	0.9567 (37.152)
		車輛班次密集度指標變異數 v_1^2	0.7083 (24.406)
		買票或訂票方便程度指標變異數 v_2^2	0.5720 (24.676)
		上下車停靠站多寡指標變異數 v_3^2	0.8704 (26.024)
	舒適娛樂性	車內及場站茶點之提供指標 α_4	1.00 (-)
		車內電視之提供指標 α_5	1.0225 (39.146)
		提供車內及場站書報雜誌指標 α_6	0.8870 (34.060)
		車內及場站茶點之提供指標變異數 v_4^2	0.8034 (24.710)
		車內電視之提供指標變異數 v_5^2	0.7219 (24.173)
		提供車內及場站書報雜誌指標變異數 v_6^2	0.9888 (26.131)
	乘客互動度	客運公司行車安全紀錄指標 α_7	1.00 (-)
		司機服務態度指標 α_8	1.0464 (38.978)
		場站服務人員態度指標 α_9	0.9388 (35.591)
		客運公司行車安全紀錄指標變異數 v_7^2	0.8714 (26.649)
		司機服務態度指標變異數 v_8^2	0.6600 (25.969)
		場站服務人員態度指標變異數 v_9^2	0.8371 (26.604)

表 12 GLVCM 與 ELVCM 校估結果比較表(續)

		變數名稱 (單位)	GLVCM 係數 (t 值)	ELVCM 係數 (t 值)
潛在變數結構模式	便利	乘客互動滿意度→便利滿意度	—	1.0019 (36.619)
		便利滿意度結構模式變異數 ω_1 、 T_1^{**}	1.4455 ^{**} (36.438)	0.2643 (8.658)
	舒適娛樂	乘客互動滿意度→舒適娛樂滿意度	—	0.9984 (36.417)
		感受旅行時間 (小時) →舒適娛樂滿意度	—	-0.2933 (-21.992)
		票價 (百元) →舒適娛樂滿意度	—	0.2881 (22.649)
		舒適娛樂滿意度結構模式 ω_2 、 T_2^{**}	0.6390 ^{**} (20.920)	0.2266 (6.141)
	互動	感受旅行時間 (小時) →乘客互動滿意度	—	-0.0194 (-3.445)
		乘客互動滿意度結構模式變異數 ω_3 、 T_3^{**}	0.1664 ^{**} (3.9550)	1.4283 (39.903)
		便利與舒適娛樂結構模式共變異數 T_{12}^{**}	1.2535 ^{**} (35.648)	—
		舒適娛樂與乘客互動結構模式共變異數 T_{23}^{**}	0.2190 ^{**} (8.5860)	—
		便利與乘客互動結構模式共變異數 T_{13}^{**}	1.2696 ^{**} (36.264)	—
	模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$)		-24349.154	-24182.1027

註：**表示 GLVCM 潛在變數結構模式之 Cholesky 分解下三角矩陣 T_{ij} 。

四、結論與建議

4.1 結論

(一)本研究主要的學理貢獻

1. 構建 GLVCM 以整合潛在變數異質性與相關性問題

本研究針對國道客運旅客特性，構建包含便利性、舒適娛樂性、乘客互動等服務品質滿意度之個體異質與相關問題之選擇行為模式，以了解服務品質滿意度之個體異質與相關問題，對旅客選擇各客運公司的影響情況。本研究首先以 SEM 進行潛在變數的變異數矩陣驗證，經多種模式適合度指標得知，本研究潛在變數彼此間之個體異質性與相關性，具有顯著影響。其次構建整合潛在變數異質性與相關性問題之 GLVCM，亦證實便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數，應具有個體品味差異與相關之情況，且此三個服務品質滿意度變數應正向影響旅客對國道客運公司的選擇行為，故若潛在變數假設為外生變數時，旅客對國道客運選擇行為模式應同時考慮便利性、舒適娛樂性、乘客互動度等滿意度潛在變數之個體品味差異與相關情況較佳。此外，目前國外之潛在變數選擇模式相關研究中僅 Ashok 等人^[7]於模式考慮兩個方案、兩個潛在變數間之相關性，本研究之 GLVCM 已將模式擴展為多方案(四個)、多潛在變數(三個)之異質性與相關性問題，這在相關研究是重要的突破。

表 13 各家公司執行策略對市場占有率影響結果彙整表

策略		國光 市占率差異	統聯 市占率差異	和欣 市占率差異	阿羅哈 市占率差異
國光客運「調漲 100 元」	MNL	-0.065	0.027	0.018	0.021
	ELVCM	-0.002	0.001	0.001	0.000
統聯客運「調漲 100 元」	MNL	0.027	-0.069	0.021	0.022
	ELVCM	0.001	-0.002	0.001	0.000
和欣客運「調漲 100 元」	MNL	0.017	0.020	-0.070	0.034
	ELVCM	0.001	0.000	-0.001	0.000
阿羅哈客運「調漲 100 元」	MNL	0.020	0.021	0.035	-0.075
	ELVCM	0.001	0.000	0.001	-0.002
國光客運「改善旅行時間 15 分」	MNL	0.055	-0.023	-0.015	-0.017
	ELVCM	0.017	-0.010	-0.003	-0.004
統聯客運「改善旅行時間 15 分」	MNL	-0.023	0.059	-0.017	-0.018
	ELVCM	-0.009	0.016	-0.003	-0.004
和欣客運「改善旅行時間 15 分」	MNL	-0.016	-0.018	0.063	-0.028
	ELVCM	-0.003	-0.004	0.011	-0.004
阿羅哈客運「改善旅行時間 15 分」	MNL	-0.018	-0.019	-0.027	0.064
	ELVCM	-0.013	-0.013	-0.012	0.038
國光客運「調漲 100 元」 +「改善旅行時間 15 分」	MNL	-0.019	0.008	0.006	0.006
	ELVCM	0.015	-0.008	-0.003	-0.004
統聯客運「調漲 100 元」 +「改善旅行時間 15 分」	MNL	0.008	-0.02	0.006	0.007
	ELVCM	-0.008	0.013	-0.002	-0.003
和欣客運「調漲 100 元」 +「改善旅行時間 15 分」	MNL	0.005	0.006	-0.02	0.01
	ELVCM	-0.003	-0.003	0.01	-0.004
阿羅哈客運「調漲 100 元」 +「改善旅行時間 15 分」	MNL	0.006	0.006	0.01	-0.021
	ELVCM	-0.003	-0.003	-0.003	0.009

2. 構建旅客行為資訊較豐富之 ELVCM

本研究構建考慮便利性、舒適娛樂性、乘客互動等服務品質滿意度，以及旅行時間與票價等變數間之層級式因果關係，對各客運公司選擇行為模式，以了解旅行時間與票價增減策略對旅客選擇各客運公司的影響情況。本研究首先以 SEM 進行各潛在變數與重要解釋變數間之層級式因果關係驗證，經模式適合度指標可知本研究之層級式因果關係架構可獲得相當不錯的解釋能力，以及相當程度的可靠性。其次整合層級式因果關係與 MNL 模式，以構建旅客行為資訊較豐富之內生性潛在變數選擇模式，實證結果得知便利性滿意度

與舒適娛樂滿意度，將直接影響旅客對客運公司的選擇行為，乘客互動滿意度則需透過便利性滿意度與舒適娛樂滿意度，間接影響旅客對各客運公司的選擇行為。另由敏感性分析結果可知傳統的 MNL 皆明顯高估各家客運公司調高票價或改善旅行時間，對乘客的流失或吸引之影響力。因此，一階段之 ELVCM 較能適切地反應旅行時間與票價，以及便利性、舒適娛樂性、乘客互動等服務品質滿意度等變數，對旅客選擇各客運公司的影響情況。此外，目前國外之潛在變數選擇模式研究中 Walker^[6] 及 Walker 與 Ben-Akiva^[10] 於模式考慮兩個方案、兩個潛在變數間之內生性，本研究之 ELVCM 已將模式擴展為多方案(四個)、多潛在變數(三個)之層級式因果關係問題，這在相關研究也是重要的突破。

3. 研究方法之改善

由回顧相關文獻可知，探討旅客行為意向與選擇行為的研究為數不少，但卻僅有少部分研究同時探討這兩個主題，且這些同時探討旅客行為意向與選擇行為之研究，大都採兩階段校估法進行，其大都僅以第一階段的測量模式關係代入選擇模式，而並非以潛在變數結構模式參數代入選擇模式，亦即這類研究之選擇模式皆假設潛在變數為獨立之外生變數，並未反應潛在變數結構方程模式之變異數結構，或潛在變數間之層級式因果關係。此外，Walker^[6]、Ashok 等人^[7]、Walker 與 Ben-Akiva^[10]，以及本研究皆已證實一階段校估之各種 LVCM 皆較兩階段模式及 MNL 佳，且若潛在變數假設為外生變數時，GLVCM 應較能反應潛在變數之個體異質與相關問題；若假設潛在變數為內生性時，考慮潛在變數間之層級式因果關係之 ELVCM，應較能適切地反應旅行時間與票價等策略變動對旅客選擇客運公司之影響行為。比較本研究之基準 LVCM、HLVCM、GLVCM、及 ELVCM 之模擬對數概似函數值 ($LL(\beta \& \beta^*)$) 可知，ELVCM 之 $LL(\beta \& \beta^*)$ ，並未隨著模式複雜度與參數個數增加而降低，反而呈現增加之情況，由此可知本研究之 ELVCM 對於旅客選擇客運公司之解釋能力優於 GLVCM、HLVCM、LVCM，且 GLVCM 之解釋能力優於 HLVCM 與 LVCM，此乃本研究於學理上主要貢獻之一。

(二) 本研究主要的應用貢獻

1. 幫助客運業者正確地掌握影響乘客選擇客運公司之關鍵變數

對國道客運業者而言，無論是傳統的 MNL 模式，或是反應潛在變數層級式因果關係之 SEM，皆仍有其不足之處，若能進一步考慮潛在變數個體異質與相關問題，或應用潛在變數層級式因果關係之 ELVCM，應可幫助決策者正確地掌握影響乘客選擇客運公司之關鍵變數，及其對市場占有率的影響，研擬有效的行銷策略或改善措施，進而達到提升市場占有率之功效。

2. 提供客運業者研擬適宜的行銷策略或改善措施

由本研究之敏感性分析可知以往利用兩階段校估之選擇模式，大都高估潛在變數、旅行時間、及票價等變數，對旅客選擇各客運公司的影響力。此外亦獲知改善旅行時間對吸引乘客搭乘的影響效果較大，故各公司可研議減少旅行時間之策略，以吸引旅客搭乘。若

同時執行「調漲票價 100 元」與「改善旅行時間 15 分鐘」兩具有損益效果的策略，由於後者策略對吸引旅客選擇行為影響較大，故同時執行上述兩策略對各客運業者將仍具有吸引旅客搭乘的正向效果。因此，本研究之 ELVCM 可提供客運業者研擬適宜的行銷策略或改善措施，進而提出適切的策略分析與決策。

4.2 建議

(一)對臺灣地區國道客運業者之建議

1. 便利性、舒適娛樂性、乘客互動等滿意度為影響旅客選擇業者的主要變數

由本研究之 ELVCM 校估結果可知，旅客對各客運公司之便利性滿意度與舒適娛樂滿意度，將直接影響旅客對各客運公司的選擇行為，且便利性滿意度之影響效果較舒適娛樂滿意度強；而乘客互動滿意度則需透過便利性滿意度與舒適娛樂滿意度，間接影響旅客對各客運公司的選擇行為。故各業者應針對旅客滿意度不佳的項目進行改善，以提升旅客之服務品質滿意度，進而增加市場占有率與營收。

2. 旅行時間的改善 15 分鐘較票價的調整 100 元內更能吸引旅客

經敏感性分析結果可知改善旅行時間 15 分鐘，對吸引乘客搭乘的影響效果，較票價調整 100 元內的效果強，故各業者可透過減少目前國道客運北高線行駛時間之策略 (如改善車輛性能、減少停靠站、避免行經市區擁擠路段等)，以吸引旅客搭乘。

3. 針對各公司旅客特性推出有利行銷措施

由本研究之旅客特性分析及 ELVCM 之構建可知，國光公司可針對 40 歲以上旅客或公務旅客推出優惠方案，此外由選擇阿羅哈或和欣公司的旅客特性，大都為全票或非優惠時段的旅客，故這兩家公司若能針對服務品質滿意度的提升，應可吸引旅客持續搭乘，達到提升旅客的忠誠度之功效。

(二)對後續相關研究之建議

本研究受限於人力、時間與經費，僅挑選臺灣地區國道客運北高線進行實證研究，故所獲得的研究成果可能無法適用於其他路線，因此未來之相關研究可考慮再多納入其他路線，以對臺灣地區整體國道客運旅客之選擇行為有全面性之了解。

其次，本研究之三種潛在變數選擇模式在選擇模式部分皆假設各替選方案間為獨立，然而目前經營北高線的四家客運業者間，應有一定程度的相似性，例如國光與統聯的票價較接近，和欣與阿羅哈的票價較相似，因此，建議未來相關研究可結合內生性市場區隔的個體選擇模式與潛在變數選擇模式，或整合潛在群體選擇模式 (latent class choice model, LCCM) 與潛在變數選擇模式，或於模式中同時考慮外生可觀測變數與外生潛在變數之異質性與相關性問題、於潛在變數選擇模式中同時考慮潛在變數之異質性、相關性、及層級式因果關係等問題，構建旅客行為資訊更豐富之行為模式，應能更精確地詮釋旅客之選擇

行為。惟隨著模式之複雜度增加，參數校估之標準化與認定問題更加嚴重，後續研究應審慎評估模式之複雜度與參數認定之困難度，彼此間損益情況。

最後，本研究已構建包含便利性、舒適娛樂性、乘客互動等服務品質滿意度，以及旅行時間與票價等變數間之層級式因果關係之選擇行為模式，但旅客的決策過程有可能相當複雜，影響因素也可能很多，故本研究構建之 ELVCM 之因果關係，恐無法解釋現實生活中所有旅客的選擇行為，因此建議未來相關研究可於模式中增加考慮其他重要的潛在變數，如忠誠度與知覺價值等變數，以期更能反應旅客實際的選擇行為。

參考文獻

1. Green, P. E., "Hybrid Models for Conjoint Analysis: An Expository Review", *Journal of Marketing Research*, Vol. 21, 1984, pp. 155-169.
2. Harris, K. M. and Keane, M. P., "A Model of Health Plan Choice: Inferring Preferences and Perceptions from a Combination of Revealed Preference and Attitudinal Data", *Journal of Econometrics*, Vol. 89, 1998, pp. 131-157.
3. Madanat, S. M., Yang, C. Y., and Yen, Y. M., "Analysis of Stated Route Diversion Intentions under Advanced Traveler Information Systems Using Latent Variable Modeling", *Transportation Research Records*, No. 1485, 1995, pp. 10-17.
4. Elrod, T. and Keane, M. P., "A Factor-Analytic Probit Model for Representing the Market Structure in Panel Data", *Journal of Marketing Research*, Vol. 32, 1995, pp. 1-16.
5. Keane, M. P., "Modeling Heterogeneity and State Dependence in Consumer Choice Behavior", *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 15, No. 3, 1997, pp. 310-327.
6. Walker, J. L., "Extended Discrete Choice Model: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables", Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2001.
7. Ashok, K., Dillon, W. R., and Yuan, S., "Extending Discrete Choice Models to Incorporate Attitudinal and Other Latent Variables", *Journal of Marketing Research*, Vol. 39, 2002, pp. 31-46.
8. Gopinath, D. A., "Model Heterogeneity in Discrete Choice Processes: Application to Travel Demand", Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1995.
9. Morikawa, T., Ben-Akiva, M., and McFadden, D., "Discrete Choice Models Incorporating Revealed Preferences and Psychometric Data", *Econometric Models in Marketing*, Vol. 16, 2002, pp. 27-53.
10. Walker, J. and Ben-Akiva, M., "Generalized Random Utility Model", *Mathematical Social Sciences*, Vol. 43, 2002, pp. 303-343.
11. 任維廉、董士偉、呂堂榮，「服務場景與等候經驗對國道客運乘客行為意向與選擇行為之影響」，*運輸計劃季刊*，第三十四卷，第三期，民國 94 年，頁 413-442。

12. 陳順宇，**多變量分析**，第二版，華泰書局，臺北，民國 96 年。
13. 邱皓政，**結構方程模式**，雙葉書廊有限公司，臺北，民國 92 年。
14. 任維廉、呂堂榮，「國道客運知覺之服務品質，滿意度與移轉障礙對其行為意向之影響」，**運輸計劃季刊**，第三十三卷，第二期，民國 93 年，頁 421-448。
15. 胡凱傑，「應用服務品質量表與知覺價值模式探討旅客再消費意願之影響因素：以汽車客運業為例」，國立交通大學運輸科技與管理學系博士論文，民國 92 年。
16. 胡凱傑、任維廉，「線性結構關係與類神經網路在旅客行為意向之應用與比較：以國道客運業為例」，中華民國運輸學會第 18 屆論文研討會，中華民國運輸學會，民國 92 年。
17. 楊志文、段良雄，「考慮選擇集合與異質性之個體城際客運選擇模式」，**運輸計劃季刊**，第三十三卷，第二期，民國 93 年，頁 391-420。
18. Bhat, C. R., "Accommodating Variations in Responsiveness to Level-of-Service Measures in Travel Mode Choice Modeling", *Transportation Research Part A*, Vol. 32, 1998, pp. 495-507.
19. Bhat, C. R., "Incorporating Observed and Unobserved Heterogeneity in Urban Work Travel Mode Choice Modeling", *Transportation Science*, Vol. 34, No. 2, 2000, pp. 228-238.
20. Train, K., *Discrete Choice Method with Simulation*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
21. Bhat, C.R., "Quasi-random Maximum Simulated Likelihood Estimation of the Mixed Multinomial Logit Model", *Transportation Research B*, Vol. 35, 2001, pp. 677-693.
22. McFadden, D. and Train, K., "Mixed MNL Models for Discrete Response", *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 15, No. 5, 2000, pp. 447-470.
23. Arbuckle, J. L. and Wothke, W., *Amos 4.0 User's Guide*, Small Waters Corporation, Chicago, 1999.
24. Hair, J. E., Rolph, E., Ronald, L. T., and William, C. B., *Multivariate Data Analysis*, Prentice-Hall, Engelwood Cliffs, NJ, 1998.
25. Fornell, C. and Larcker, D., "Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Errors", *Journal of Marketing Research*, Vol. 18, No. 1, 1981, pp. 39-50.
26. Aptech Systems, Inc., *GAUSS 4.0*, Aptech Systems, Inc., Maple Valley, Washington, 2002.

