

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

結合目的地、航線、航空公司選擇之
軸輻路網空運旅次需求模式

Combining Destination, Route and Carrier Choice:
A Passenger Demand Model for Air Transportation in a
Hub-and-Spoke Network

研究生：車函芳

指導教授：蕭傑諭

中華民國 一 〇 九 年 八 月

結合目的地、航線、航空公司選擇之
軸輻路網空運旅次需求模式

**Combining Destination, Route and Carrier Choice:
A Passenger Demand Model for Air Transportation in a
Hub-and-Spoke Network**

研 究 生：車函芳

Student: Han-Fang Che

指導教授：蕭傑諭

Advisor: Chieh-Yu Hsiao



A Thesis
Submitted to Department of Transportation and Logistics Management
College of Management
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Traffic and Transportation
August 2020
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一 ○ 九 年 八 月

結合目的地、航線、航空公司選擇之 軸輻路網空運旅次需求模式

學生：車函芳

指導教授：蕭傑諭

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

鑑於旅運者對空運服務之選擇日趨多元(例如：目的地、航線、航空公司)，而其考慮要素攸關航空公司經營策略擬定，故清楚地瞭解旅運者選擇行為是一個相當重要的議題。

本研究利用總計縱橫資料，建構以起點都會區為分析市場之旅運者目的地—航線—航空公司選擇模式，該模式允許市場總體需求保有彈性；可綜合考量出發地及目的地的地緣社經因素，以及航線、航空公司、起迄及轉機機場之服務水準因素對於旅運需求之影響；能探究選擇方案間之替代性(如：航空公司和目的地之替代性、多機場都會區之起迄機場可替選)；呈現屬性不同之目的地，具有不同替代、屬性不同的起點都會區，航空方案和非航空方案的替代程度不同；在使用工具變數法處理票價內生性問題後，模式係數所推估之時間價值與票價需求彈性都變得更加合理。

另外，過去將分析單位定義在都會區起迄對的文獻，所得之票價彈性，多會落於本研究之模式所得出的都會區起迄對和起點都會區需求票價彈性之間，顯見研究旅運者行為時，若未考量目的地替代性，可能低估旅運者對於價格的敏感程度。

本研究亦利用所建議之模式進行航空公司策略調整模擬，模擬中可觀察到起點都會區總體需求量改變，且目的地、起迄機場、航空公司及航線分配情形亦會產生變化；而若為多家對手航空公司同時進行策略調整，則會顯現航空公司間之競爭效果；航空公司可根據本模式預測結果選擇對本身較具競爭優勢之市場進行策略調整，以提高收益。

關鍵詞：目的地-航線-航空公司選擇模式、空運需求、需求產生、需求指派、內生性

Combining Destination, Route and Carrier Choice: A Passenger Demand Model for Air Transportation in a Hub-and-Spoke Network

Student: Han-Fang Che

Advisor: Chieh-Yu Hsiao

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

Abstract

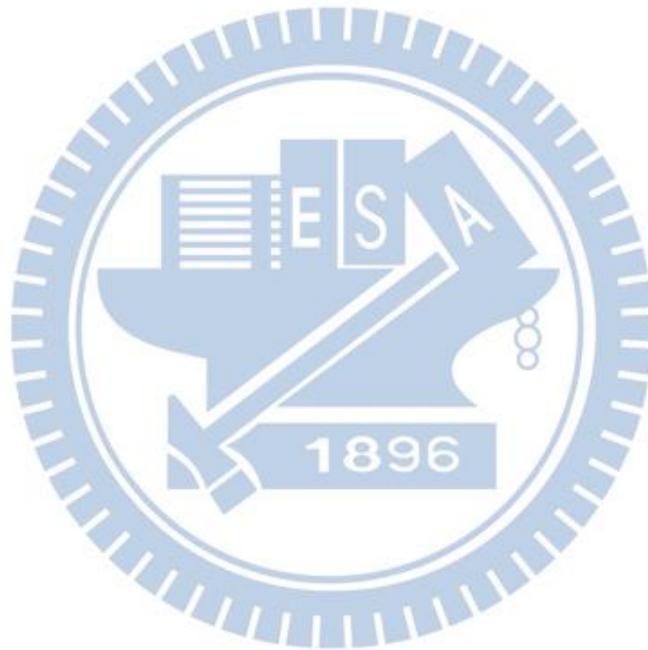
In view of the increasingly diversified choices of air transport services by travelers (for example, destinations, routes, and carriers), those considerations are critical to airline business strategies. Thus, understanding travelers' choice behavior is a very important issue.

This study uses aggregate panel data to construct a destination-route-carrier choice model based on the origin metropolitan area. This model keeps the total demand elastic; it can comprehensively consider the impacts of social-economic factors of the origin and destination city, as well as the influence of the service level of routes, carriers, OD airports, and connecting airports on air travel demand; it explores the substitution patterns among alternatives (such as the alternatives of carriers and destinations, the OD airports in the multi-airport metropolitan areas); it allows destinations with different attributes to have different substitution patterns, and substitution between aviation and non-aviation options is different by origin metro areas with different attributes; after improving the problem of fare endogeneity by the instrumental variable method, the estimated value of time and the fare elasticity become more reasonable.

In addition, the fare elasticities, which defined the market as a city-pair, in the literature would mostly fall between the fare elasticity of metropolitan area demand and the fare elasticity of city-pair demand estimated from our models. Therefore, when studying travelers' behavior, ignoring the destination substitution may underestimate the price

sensitivity of travelers.

The model is also used to simulate airline strategies. The model can predict the changes in total demand in the origin metropolitan area, and the allocation changes in destinations, OD airports, carriers and routes. In addition, when multiple rival airlines make strategic adjustments at the same time, the effects of competition among airlines can be revealed. Airlines can choose better strategies and markets to increase their revenue based on the predicted results of this model.



Keywords: destination-route-carrier choice model, air travel demand, demand generation, demand allocation, endogeneity

誌謝

眨眼間，碩士班的兩年一晃而過，回想去年此時的自己，尚連研究方向皆未確定，不免有些不可思議，不知不覺間，竟也一步步地走到了論文尾聲。

在撰寫論文的過程，很幸運地，遇見了一位在學術研究嚴謹、在日常生活又不失風趣的指導教授—蕭傑諭老師，無論是最初研究方向之確立，到後來之模式設計與校估，以及最後研究成果的呈現，感謝老師一路悉心的指導，讓我得以順利完成論文，且在過程中受益良多。另外，感謝兩位論文審查委員汪進財老師及溫裕弘老師，在審閱期間及口試過程，提供許多寶貴的意見，使我的論文內容能夠更加完善。

當然，還要感謝一路從陌生到熟悉、同一個研究室的戰友—雨竹和溥琳，回想過去兩年來，首先浮現地並非預期的沉悶和辛苦，反而感受更深的是，研究過程卡關時，你們在百忙之中，仍陪我討論、設想解決辦法，以及交稿和口試前幾天，很多如果只有我一個人面對，崩潰程度大概會放大十倍的時刻，因為有你們在線上或研究室一起聊天、互相加油打氣，本該疲倦而緊張的時刻，常在不知不覺間，轉而充滿了笑聲，也謝謝你們在研究所的兩年中，幫了我不計其數的忙。

最後，要感謝我的家人，於我而言，家自有種不言而喻的力量，儘管因北上求學，不再能和往常一樣頻繁地回家，也很少與你們細聊研究過程遇到的挫折，但有時僅僅是電話一端的幾句日常，不經意地便支撐著我度過了那些灰暗的瞬間。

隨著論文撰寫來到尾聲，也將與陪伴自己十八年的學生身分告別，在此衷心感謝求學過程中，所有溫暖而純粹的相遇。

車函芳 謹誌

國立交通大學運輸與物流管理學系

中華民國一〇九年八月

目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍.....	4
1.4 研究流程.....	5
第二章 文獻回顧	6
2.1 運輸需求模式	6
2.1.1 需求產生模式(Demand Generation Model)	6
2.1.2 需求指派模式(Demand Assignment Model).....	7
2.1.3 整合需求產生與需求指派模式	7
2.2 空運需求影響因素	8
2.3 小結.....	9
第三章 研究方法與研究設計	11
3.1 研究方法.....	11
3.1.1 研究詞彙定義	11
3.1.2 離散選擇模式(Discrete Choice Models, DCM)	12
3.2 模式結構設計	16
3.3 旅運者選擇行為影響因素	19
3.2.1 起點都會區層級	19
3.2.2 迄點都會區層級	19
3.2.3 航線—航空公司層級	21
3.3 小結.....	23
第四章 資料蒐集與統計分析	24
4.1 資料蒐集與篩選	24
4.2 整體資料敘述性統計分析	28
4.2.1 起點都會區層級	28
4.2.2 迄點都會區層級	29
4.2.3 航線—航空公司層級	30
4.2.4 工具變數.....	30
第五章 模式校估與應用	31
5.1 模式校估與結果分析	31
5.1.1 模式設定與校估流程	31
5.1.2 校估結果分析	34
5.1.3 小結.....	42
5.2 模式應用.....	43

第六章 結論與建議	51
6.1 結論.....	51
6.2 建議.....	53
參考文獻.....	54



圖目錄

圖 1.1 2000~2018 年之全球都會區起迄對數.....	1
圖 1.2 研究流程圖.....	5
圖 3.1 研究詞彙定義.....	12
圖 3.2 NL3 巢式羅吉特模式架構圖.....	16
圖 3.3 NL4 巢式羅吉特模式架構圖.....	17
圖 3.4 NL5 巢式羅吉特模式架構圖.....	17
圖 3.5 各層包容值對應方案示意圖.....	18
圖 4.1 票價及油價趨勢圖.....	30
圖 5.1 巢式結構與各層方案定義示意圖.....	32
圖 5.2 NL5 都會區起迄對距離與效用關係圖.....	36
圖 5.3 價格彈性累積機率圖(使用 IV).....	38
圖 5.4 依觀光產業就業比例分組之票價彈性機率累積圖.....	39
圖 5.5 依所得分組之票價彈性機率累積圖.....	39
圖 5.6 觀光就業比例彈性機率累積圖.....	40
圖 5.7 三級產業就業比例彈性機率累積圖.....	41
圖 5.8 所得彈性機率累積圖.....	41
圖 5.9 美國航空佔休士頓與費城新增需求量比例比較圖.....	49
圖 5.10 亞特蘭大與夏洛特往費城新增需求量來源比較圖.....	50

表目錄

表 2.1 旅次選擇行為之影響因素.....	10
表 3.1 影響因素之變數設計、預期校估結果及其含義.....	22
表 4.1 資料來源彙整.....	24
表 4.2 FAA 定義之核心樞紐機場及其所屬都會區.....	26
表 4.3 起點都會區相關屬性之敘述性統計.....	28
表 4.4 迄點都會區相關屬性之敘述性統計.....	29
表 4.5 航線—航空公司層級解釋變數之敘述性統計.....	30
表 5.1 模式校估結果.....	35
表 5.2 表定飛行時間之時間價值比較表.....	38
表 5.3 情境假設.....	43
表 5.4 依整體航空市場視角解析模擬結果_CASE1(休士頓).....	46
表 5.5 依整體航空市場視角解析模擬結果_CASE2(費城).....	47
表 5.6 依航空公司視角解析模擬結果.....	49



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

自 1945 年二次世界大戰結束後，航空運輸由作戰、後勤用途轉為民生用途，其市場規模日益龐大，根據國際航空運輸協會(International Air Transport Association, IATA) 2019 年報統計，航空運輸已由 2000 年約 17 億的旅次量，成長至高達 43 億的旅次，而單單國際航空旅次即創造了 8,500 億的產值，近年來為了促進航空產業的發展，許多國家將航空產業相關規範逐步鬆綁，使得航空業競爭更加劇烈，不僅提高了航空產業的效率，亦大幅度降低了旅客使用航空運輸的成本，此外，根據國際航空運輸協會(International Air Transport Association, IATA) 2019 年報統計，全球航空運輸之服務範圍已由 20 年前約 11,000 對都會區起迄對(city-pair)，成長至近 22,000 對(圖 1 之藍線)，以各國主要都會區為起迄點的航線網日漸遍及全球，綜合前述可知，隨著使用成本的降低、可供選擇的目的地更加多元，使得近年來選用航空運輸的旅運者規模越來越龐大，旅運者對空運服務的選擇行為亦越發複雜。

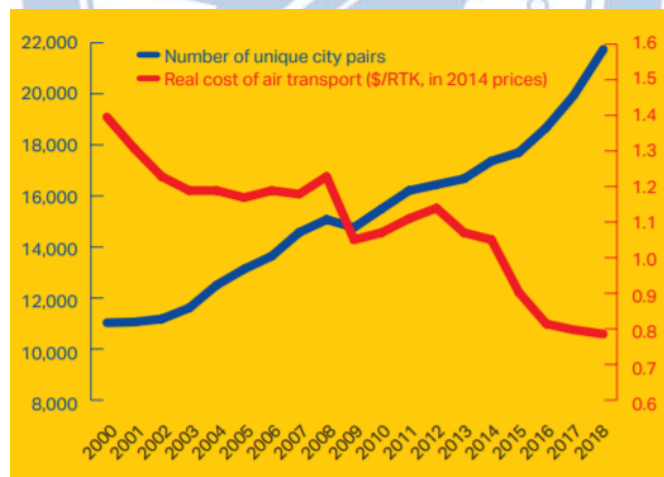


圖 1.1 2000~2018 年之全球都會區起迄對數

資料來源：IATA Annual Report 2019

有鑑於航空產業對全球經濟活動之重要性，使得關於航空運輸需求之議題備受關注，而在研究空運議題時，又深受定義之需求範圍影響，如：以都會區為起迄和以機場為起迄，即會使建構之需求模式截然不同。此外，運輸需求模式依探討主題可大致分為需求產生模式(Demand Generation Model)以及需求指派模式(Demand Assignment Model)，前者著重於探討影響起迄間交通量多寡之因

素；後者則注重於影響起迄間交通量分佈之因素。有關空運需求模式的研究不勝枚舉，研究依其探討主題及需求範圍的不同，建構之模式分別能處理不同的問題，常見的探討議題像是一單一機場或都會區需求產生、起迄機場或都會區起迄對的需求產生、航線的需求量指派，以及多機場的需求量指派等，但也分別有他們各自應用上的限制，像是若將需求範圍定義在起迄機場時，此時會將起迄機場間視為彼此獨立，而無法處理同一都會區之多機場問題，此外，單獨的需求產生模式可能無法適當處理起迄對間，可能存在不同替選方案之情況；而單獨的需求指派模式，模式中的總體需求量为訂為固定的值，因此 Hsiao & Hansen 在 2011 年首次提出了結合旅次產生和旅次指派的需求模式，於模式中處理旅運者的航線選擇行為，並將需求範圍定義在都會區起迄對，使模式中能處理同一都會區的多機場問題常見的探討議題，Hsiao & Chen 在 2019 進一步將航空公司的替代性納入考量，使模式能處理航空公司間的競爭議題。

由於過往之文獻建構需求模式時，多定義以起迄對為研究單位，此時會將不同起迄對彼此之間視為獨立，代表起迄對間並不會相互影響，而使模式難以探討旅客的目的地選擇行為，然在現實生活中，起迄兩端點中的迄點，彼此間可能是存在替代性的，舉例來說，2020 年暑假由於 COVID-19(嚴重特殊傳染性肺炎)，使台灣民眾無法出國旅遊，導致國內離島的遊客暴增，此時，若以固定起迄建構之需求模式，則難以於模式中探討旅客由出國旅遊轉而前往離島的目的地改變行為，而無法提供量化之數據，以供航空公司擬定策略或政府研擬因應政策參考，加之根據前述 IATA 2019 年的年報可知，全球的都會區起迄對成長迅速，從需求面來看，代表空運旅次在目的地的選擇更為多元，使旅次的目的地選擇行為趨於複雜；從供給面來看，代表航空公司在積極拓展航線網，然而，航空公司若參考現有固定起迄兩端點之需求模式擬定經營策略，評估之結果可能與現實存在落差，因此，Birolini et al.(2019)提出之僅固定單一端點(即起點之作法)，欲處理目的地間的替代性。

基於前述，考量了目的地間替代性的需求模式，應會使模式中之旅次行為更為貼近現實，然而若僅探討旅次之目的地選擇行為，而未呈現旅次於航線和航空公司之選擇行為，將會使模式難以提供航空公司精確、詳細的資訊，作為擬定策略之參考，因此，本研究擬建構一能同時探討目的地、航空公司與航線選擇行為之需求模式，將旅運者於目的地、航空公司及航線之選擇行為進行合理量地量化，以供航空公司擬定策略或政府研擬政策時，作為參考準則。

1.2 研究目的

鑑於旅運者對空運服務之選擇日趨多元(例如：目的地與航線)，而其考慮要素攸關航空公司經營策略擬定，故清楚地瞭解旅運者選擇行為是一個相當重要的議題，然現有之研究鮮少考慮到目的地方案間之替代性，多採固定起迄兩端點之概念，使得模式僅能解釋兩地間之旅次產生或旅次分配，而難以解釋人們於目的地之選擇行為，有鑑於此，本研究擬應用美國國內航空資料，建構一考量目的地替代性之需求模式，以供航空公司策略或政府政策作為參考依據。具體研究目的詳述如下：

1. 彙整空運需求模式相關文獻，以供後續建構模式參考
2. 建構考量目的地間替代性之需求模式，使模式中之旅次行為更貼近現實

(1) 提出合理模式結構

- 模式中總需求量保有彈性
- 模式中考量目的地之替代性
- 模式中屬性相異的都會區，具有不同的替代性
- 模式中考量都會區中之多機場問題
- 模式中處理目的地、航空公司及航線間替代性高低不同的問題
- 模式中可同時探討目的地、航空公司及航線選擇行為

(2) 設計適當模式變數

目的地選擇行為雖較少於航空運輸需求模式中提及，但於觀光領域中，有關目的地選擇之研究不勝枚舉(因目的地選擇多發生於觀光旅次)，然傳統觀光領域中之目的地選擇，多採單一時間點之問卷調查作為樣本資料，鮮少採用縱橫資料(Panel Data)進行模式校估，而使得模式難以隨時間進行更新，且難以應用於不同時間點之政策影響評估，故本研究擬蒐集定期更新之可靠公開資料，自行針對目的地屬性設計適當變數，以更完整捕捉目的地吸引力。

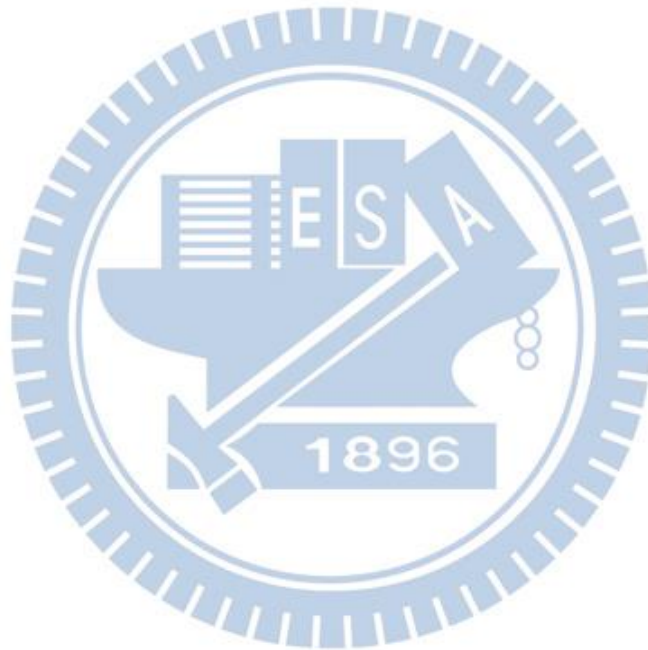
(3) 分析比較各種模式之解釋能力，建議較為適用之模式

3. 進行情境模擬，量化考量了目的地替代性之影響

本研究將進行情境模擬，於隱含政策意涵的情境中，量化屬性變數改變時，於旅次產生、目的地選擇、起迄機場選擇、航線選擇行為之影響，以供航空公司調整航線，或政府研擬政策時，作為參考依據。

1.3 研究範圍

本研究擬將研究市場層級定義在都會區，研究範圍則涵蓋 2004 年至 2017 年(共 56 季)美國本土 48 州之航線，且轉機次數不大於一次者，來探討美國國內都會區間之航空旅次需求，模式中將以乘客數篩選，選用美國國內前百大機場，另外，根據美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)定義之核心樞紐機場作為轉機機場，去除非以核心樞紐機場轉機之航線。



1.4 研究流程

本研究首先確立研究目標，並設立研究範圍，再針對研究主題進行文獻回顧與整理，藉由文獻回顧統整，決定航線選擇行為之解釋變數，再行設計適當目的地選擇行為解釋變數，確定所需變數後，開始進行資料蒐集及篩選，完成後便能建構模式，最後利用模式校估結果，探討人們之選擇行為，完整流程如圖 1.2 所示。



圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究擬以美國國內都會區為起點，建構航空運輸旅次之目的地及航線選擇行為模式，為供後續建模參考，本研究將彙整航空客運需求模式相關文獻，共分為兩大類，第一大類為航空客運需求模式，其中因運輸需求模式依探討主題又可大致分為需求產生模式(Demand Generation Model)以及需求指派模式(Demand Assignment Model)，故第一大類之文獻，將依循需求產生、需求指派及整合兩類模式的脈絡進行評析；第二大類航空需求影響因素—探討影響旅運者選擇行為之因素。

2.1 運輸需求模式

2.1.1 需求產生模式(Demand Generation Model)

無論路網大小，其整體之需求量，皆由其中所有路徑需求量之總和所組成，而即便是相同起迄間之路徑，亦會因旅運者之取捨權重不同，產生了不同需求量，故理論上應先探討各路徑之交通量，再將之統計為該起迄間之總需求，然早期之需求產生模式，多以旅運者之起迄(從家中至最終目的地)為構想，此種觀點於建模實證過程，將會缺乏旅運者由起點至迄點之路徑選擇資料及路徑的服務水準，致使這種建構模式的概念知易行難，因此早期之需求產生模式，多直接採整體路網觀點，直到 Anderson & Kraus (1981)提出服務區段(service segment)之想法，不同於旅運者之起迄點，服務區段能提供各區段之旅運量及其服務水準，以此為契機，需求產生模式有了評估各路徑需求量的可能，文章後續探討，會將需求產生模式分成直接探討整體路網，和分別探討各路徑後再加總之兩大類。

以整體路網需求為觀點之需求產生模式，早期多採用重力模式(Gravity Model)，探討影響起迄需求量多寡之因素—地緣社經變數：人口和距離，如 Grosche et al.(2007)，Bafail et al.(2000)提出阿拉伯國內航空市場的整體需求，會受 GDP、所得、人口、進口貨物數量等變數所影響，而前述所提到提出服務區段想法的 Anderson & Kraus (1981)，亦是從整體路網的角度出發，該研究側重於探討旅行時間(包含飛行時間和延誤時間)對整體服務區段需求之影響，Wei & Hansen (2006)則綜合了地緣社經變數和服務水準因素，建構線性迴歸，詳盡地探討了各因素對轉機機場之影響，該研究提出相較於擴大機型，增加航班頻率

更能吸引旅次，及轉機兩段航程中，旅次更為重視第一段航程的服務(提供的航線數及班次數)等結論；以各路徑需求為觀點之需求產生模式，Bhadra et al.(2003)之研究，探討票價對於不同服務區段產生之不同影響，發現短程服務區段對於票價較不具彈性。

2.1.2 需求指派模式(Demand Assignment Model)

需求指派模式的想法，意在探討影響旅次行為分佈的因素，多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model, MNL)、巢式羅吉特模式(Nested Logit Model, NL)，以及混合羅吉特模式(Mixed multinomial Logit Model, MMNL)與其他相關延伸模式，均被普遍應用於解決模式化交通量指派問題，常見需求指派模式之研究有兩種，其一將研究範圍定義在都會區起迄對(city-pair)，從需求面探討旅運者於多機場間之選擇，常採用多項羅吉特進行模式建構，例如：Harvey (1987)提出比起非商務旅次，商務旅次更為重視是否為直飛，Hansen (1995)提出旅次於多機場的選擇行為，會受機場接駁時間影響，而 Windle & Dresner (1995)提出多機場選擇行為除了受機場接駁時間、起降班次等客觀變數影響，旅次還會傾向於選擇自己習慣、曾使用之機場；其二將研究範圍定義在機場起迄對(airport-pair)，從供需平衡面探討航空公司如何提供使自身利潤最大化之服務，如 Weidner (1996)及 Adler (2001, 2005)等，除前述兩種常見之需求指派模式，Pels et al.(2001, 2003)曾將研究範圍定義在城市起迄對，建構巢式羅吉特模式，以解釋「機場—航線」與「機場—聯外運具」之選擇行為。

2.1.3 整合需求產生與需求指派模式

單獨的需求產生模式無法適當處理一對起迄點間，可能存在不同替選方案之情況，而單獨的需求指派模式其總需求不具彈性，為使模式更貼近現實生活，Kanafani & Fan (1974)曾提出建構兩階段之需求模式，第一階段以所得、人口及旅行時間為變數，建構需求產生模式，並以第一階段預估所得之需求，作為第二階段需求指派模式的依變數，再納入航班頻率及旅行成本等作為自變數，探討短距離旅次於多機場和多路徑間之選擇行為。為解決單獨的需求產生模式及需求指派模式之應用限制，Hsiao & Hansen (2011)首次建構同時處理旅次產生與旅次分配的需求模式，研究考量了路經間之相關性，而採用總計巢式羅吉特模式，一方面解決路徑 IIA(Independent Irrelevant Alternatives)問題，一方面

由於研究採用定期更新之公開資料，使得校估結果具有同時掌握需求之時間與個體變異性的優點，該研究將市場層級定義在都會區起迄對，其巢式結構中之第一層代表於該旅次中選擇航空和非選擇航空(包含不旅行，用以保持總體需求之彈性)，第二層為所有起迄點間之機場組合，第三層為機場起迄對間所有營運路徑。Hsiao & Chen(2019)參考 Hsiao & Hansen (2011)，進一步於模式中考量航空公司的替代性，經校估後得四層巢式羅吉特模式，增添一個層級為一機場起迄對間所有提供服務之航空公司，插入於起迄點間之機場組合與機場起迄對間所有營運路徑兩層級之間，使模式能處理與航空公司相關之空運議題，如：航空公司合併之福利分析。Birolini et al.(2019)則提出不同於以往將起迄對間視為獨立之觀點，改以起點基準(origin-based)進行模式建構，欲進一步解決目的地 IIA 問題，然模式中將所有路徑列於同一子巢中，使得模式中之路徑間可能存在相關性，此外，從直觀意義上，目的地選擇行為應多發生於觀光旅次，然其模式中關於目的地之屬性，僅以人口數及 GDP 作為解釋變數，對於觀光屬性之解釋變數較少著墨，使其在應用模擬分析上有所限制。

2.2 空運需求影響因素

運輸係衍生性需求，是在人們為了達成社交、經濟等目的而產生，致使不同地區、不同族群基於不同因素，發展出風格迥異之行為模式，Tretheway & Oum (1992)提出影響航空運輸需求之 13 項重要變數，於 Jorge (1997)研究中，則更進一步將影響航空旅運者決策之關鍵因素分為兩大類，第一大類為地緣社經因素(geo-economic factor)，又可細分為社經活動因素(economic activity factor)和地緣特徵因素(geographical characteristics)，前者最常使用之變數為一人口和所得，包含 Anderson & Kraus (1981)、Abrahams (1983)、Rengaraju (1992)以及 Hsiao & Hansen (2011)等人之文章皆曾採用此二變數，作為衡量社經活動對需求所產生之影響；後者則以距離作為變數最為常見。第二大類為服務相關因素(service-related factor)，亦可細分為服務水準和票價，服務水準包含起降班次、乘客客座率(load factor)、機型大小等，皆有研究採用為衡量變數，如 Kanafani & Fan (1974)、Harvey (1987)、Hansen (1995)、Wei & Hansen (2006)及 Hsiao & Hansen (2011)等。除上述兩大類關鍵因素，隨著近期研究趨向多元，部份學者會依據自身研究主題採用其他因素，Castelli et al.(2003)重新將因素總結為五大面向，

包含社經活動因素(人口、GDP)、地緣因素(距離、觀光市場、同業競爭、跨運具競爭)、服務水準因素(機型大小、班次)、市場因素(機場經營策略、年份、觀察期間)及價格。

2.3 小結

本研究根據前述各研究之模式、其處理之影響因素及研究定義之市場層級，進行整理歸納如表 2.1。

航空旅次之目的地選擇行為日漸趨於複雜，然綜合以上文獻回顧可知，由於現有之研究多採固定起迄兩端點(可能為起迄機場或起迄都會區)的觀點建構模式，使得模式難以探討目的地選擇行為，因此，本研究欲參考 Birolini et al.(2019)提出的起點基準(origin-based)之觀點，建構一考量目的地替代性的需求模式，並於模式中保留旅客之航線選擇行為，且為使模式不忽略同一都會區中之多機場問題，本研究將會把市場範圍定義在都會區。

此外，根據前述文獻回顧可知，多數研究各自處理了需求產生模式和需求指派模式，使得模式應用有所限制，故本研究將參考 Hsiao & Hansen (2011)和 Hsiao & Chen(2019)之作法，應用巢式羅吉特建構需求模式，將旅次產生及旅次分配進行整合，使模式在處理一對起迄點間，存在不同替選方案之情況的同時，亦能保有總體需求的彈性，且將針對航空公司和航線分設子巢，處理航線和航空公司間之替代性高低問題，並將於模式中增添適當變數，提高模式於實務上之應用性。

表 2.1 旅次選擇行為之影響因素

模式	作者, 年份	地緣社經因素			服務水準因素					
		人口	所得 / GDP	距離	票價	表定 旅行 時間	接駁 機場 時間	延誤 時間	起降 班次	機型 大小
需求 產生	Anderson & Kraus, 1981		●		●			●		
	Bafail et al., 2000	V	V							
	Bhadra, 2003	●	●	●	●					
	Wei & Hansen, 2006		◎	◎	◎				◎	◎
需求 指派	Kanafani & Fan, 1974				●				●	
	Harvey, 1987								●	
	Hansen, 1995						●			
	Windle & Dresner, 1995						●		●	
	Weidner, 1996					◎		◎		
	Adler, 2001				◎				◎	
整合 模式	Hsiao & Hansen, 2011	●	●	●	●	●		●	●	
	Hsiao & Chen, 2019	●	●	●	●	●			●	
	Birolini et al., 2019	V	V	V	V	V			V	

研究市場層級定義：V 無起迄對 ◎以機場為起迄對(Airport-pair) ●以城市為起迄對(City-pair)

資料來源：本研究整理

第三章 研究方法與研究設計

根據文獻回顧可知，多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model, MNL)、巢式羅吉特模式(Nested Logit Model, NL)與其他相關延伸模式，均被普遍應用於解決模式化交通量指派問題，故本研究將採用總計羅吉特模式建構一結合目的地、航空公司與航線選擇之需求模式，且為使模式可隨時間更新，本研究將聚焦於具有定期更新之可靠公開資料的美國主要都會區之航空旅次，並參考 Hsiao & Hansen (2011)及 Hsiao & Chen (2019)之整合需求產生及需求指派模式的結構，加以改成用固定單一端點的作法來建模，使模式能夠處理目的地替代性。

由於常見之需求指派模式，多以「固定起迄兩端點」進行探討，較少採用固定起點，再進行目的地間之旅次指派的作法，本研究將採用需求產生模式中，最為普遍之影響兩地交通量多寡的因素—人口、距離，除此之外，基於目的地選擇多發生於觀光旅次，而傳統觀光領域中目的地選擇，多採單一時間點問卷調查作為樣本資料，鮮少採用縱橫資料(Panel Data)進行模式校估，而使得模式難以隨時間進行更新，亦會使模式難以應用於不同時間點之政策影響評估，因此，本研究擬應用定期更新之可靠公開資料，自行設計具有政策意涵之變數，以量化能反應政策意涵的目的地屬性，對於航空運輸需求所帶來之效果，最終設計了觀光就業比例及三級產業就業比例兩變數，欲分別用以捕捉目的地之觀光及商業屬性。

3.1 研究方法

3.1.1 研究詞彙定義

本研究所採用之分析詞彙，將採納 Hsiao & Chen (2019)之定義：**都會區**(Metropolitan Area)為以經濟發展狀況進行切分之地理區域，如圖 3.1 中之 C_1 、 C_2 ，一個都會區可能包含多機場；**都會區起迄對**(city-pair)為一對有方向性的起迄都會區組合，如圖 3.1 中之 $C_1 \rightarrow C_2$ ，一組起迄都會區可能包含多條航線；**航線**(route)為一組由特定航空公司服務之有方向性機場組合，一條航線可能包含多個航段，如圖 3.1 中 $A_1 \rightarrow A_4$ 由航空公司 l_1 服務之 S_1 或 $S_2 + S_3$ ，以及航空公司 l_2 服務之 S_1 ；**航段**(segment)為一對有方向性的起迄機場中之一段航程，如圖 3.1 中由 $A_1 \rightarrow A_4$ 之 S_1 、 S_2 或 S_3 ，參見圖 2，此外，替選方案定義為「各迄點都會區內之航線—航空公司」，方案集合則定義為「由起點都會區出發，可藉直飛或一次轉機內抵達之都會區為迄點，其間可選擇的所有航線—航空公司」。

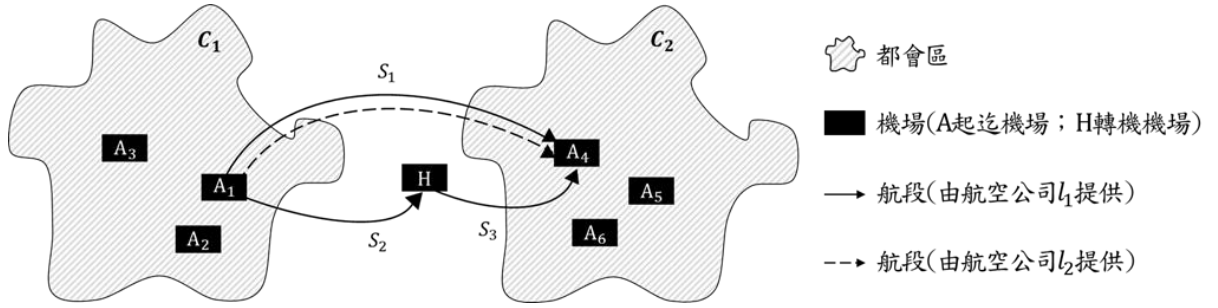


圖 3.1 研究詞彙定義

資料來源：本研究整理

3.1.2 離散選擇模式(Discrete Choice Models, DCM)

機率性選擇理論常用於解釋人們不一致之選擇行為，相較於一定會選擇效用最大者，人們的行為更偏向於是一種機率性的行為，離散選擇模式(Discrete Choice Model)運用機率性選擇理論之概念，處理當選擇集合為離散之問題，經常應用於運輸需求模式中，其模式校估結果具有多項應用價值，包含揭示決策者行為間的規律性、估計非價格要素的支付意願，以及模擬分析等等，其中又可以採用之資料分為個體離散選擇模式及總計離散選擇模式，本研究採用總計離散選擇模式，具有資料來源公開且定期更新之優點，此方法可將起點都會區之旅次需求，以及其在目的地、機場、航線及航空公司之間的分配模式化，從而得知旅運者如何在不同方案/服務水準條件下之選擇行為。

多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model, MNL)

機率性選擇行為之架構可分為兩大類—固定效用(Constant Utility)和隨機效用(Random Utility)，其中隨機效用理論(Random Utility Theory)將方案的效用函數 U_{in} 定義為確定性效用 V_{in} 與不可衡量隨機誤差項 ε_{in} 之總和，如式(1)，並將誤差項視為隨機變數，意即每個方案被選擇的可能皆為機率分配(Distribution)，其隨機性的來源包含：觀測不到的屬性、觀測不到的偏好差異、不足資訊與量測誤差，以及測量(替代)變數。確定性效用 V_{in} 可處理離散且非線性之數據，加上其參數之線性，使其具有函數計算方便之優點，容易估計未知數；當不可衡量隨機誤差項 ε_{in} ，具有不同的分配假設時，將導致不同的機率選擇模式，研究中為了便於建構模式，常將其假設為彼此獨立且分配相同(IID: Independent and Identical Distribution)，使方案i的選擇機率僅與 $V_{in} - V_{jn}$ (其中 $j \neq i$ ，j方案集合)有關。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

多項羅吉特模式(Multinomial Logit Model, MNL)其概念即源於隨機效用理論，為離散選擇模式之基礎形式，假設 ε_{in} 彼此獨立且皆服從 Gumbel 分配 (Independent and Identical Gumbel Distribution)，並假設所有替選方案都具備 IIA(Independent Irrelevant Alternatives)特性，每個方案發生之機率僅與替選方案 i 之可衡量效用 V_{in} 有關，如式(2)。

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j=c_n} e^{V_{jn}}} \quad (2)$$

P_{in} ：旅運者 n 選擇方案 i 的機率，介於 0~1 之間。

V_{in} ： i 方案對於旅客之可衡量效用。

$\sum_{j=c_n} e^{V_{jn}}$ ：所有方案對所有旅運者效用之總和。

本研究採用總計羅吉特模式，亦即用市佔率進行模式校估，參考 Hsiao and Hansen (2011)，本研究將需求範圍由都會區起迄對擴大為起點都會區，航空客運需求模式如式(3)，航線的交通量等於前在總需求量乘以特定目的地上，由特定航空公司提供服務之特定航線的市佔率。

$$Q_{drlt} = T_{ot} \cdot MS_{drlt} = T(D'_{ot}) \cdot MS(D_{drlt}, S_{drlt}, S_{-drlt}, S_{ot}) \quad (3)$$

Q_{drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 之交通量

T_{ot} 起點都會區 o 於時間 t 之潛在總需求量

MS_{drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 之市佔率

$T(\cdot)$ 潛在總需求函數

$MS(\cdot)$ 市佔率函數

D'_{ot} 起點都會區 o 於時間 t 之市場特定社會經濟與地理特徵變量

D_{drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 之目的地及航線特定社會經濟與地理特徵變量

S_{drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 之屬性

S_{-drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 之競爭者於時間 t 之屬性

S_{ot} 外部方案 0(非航空旅次之替選方案)於時間 t 之屬性

上述市佔率函數是由隨機效用理論所得，特定目的地 d 上、由特定航空公司 l 服務之航線 r 的潛在旅運者 i 於時間 t 的間接效用如式(4)。

$$U_{idrlt} = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{drltk} + \xi_{drlt} + \mu_{idrlt} + \varepsilon_{idrlt} \quad (4)$$

x_{drltk} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 可觀測之屬性 k

β_k 對應於屬性 k 之被校估參數

ξ_{drlt} 目的地 d 、航線 r 、航空公司 l 於時間 t 不可觀測之屬性

μ_{idrlt} 旅運者*i*之個人偏好，可被模式化為個體特徵與目的地—航線—航空公司特徵之函數

ε_{idrlt} 隨機變量

此外，為保有總體需求之彈性，本研究將非航空旅運選擇方案(包含非選擇空運為運具之旅次及不旅行者)之效用標準化為零，並以方案*i*表示特定目的地 *d* 上、由特定航空公司*l*服務之航線*r*，方案*i*於時間*t*的市佔率如式(5)，其中， $R(o(drl)t)$ 為起點都會區*o*於時間*t*所有可選擇之航線—航空公司集合。

$$MS_{it} = \frac{\exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{itk} + \xi_{it})}{1 + \sum_{j \in R(o(drl)t)} \exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{jtk} + \xi_{jt})} \quad (5)$$

校估總計多項羅吉特模式的基本方式，以各項屬性特徵作為自變數，將市佔率取對數作為依變數，設定基底方案，並計算方案(*drl*)之解釋變數、市佔率對數與基底方案(*drl*)'之差異值，再利用線性迴歸估計參數 β_k ，如式(6)。

$$\ln(MS_{(drl)t}) - \ln(MS_{(drl)'t}) = \sum_{k=1}^K \beta_k (x_{(drl)tk} - x_{(drl)'tk}) + (\xi_{(drl)t} - \xi_{(drl)'t}) \quad (6)$$

巢式羅吉特模式(Nested Logit Model, NL)

在旅次行為之決策模式中，方案與方案之間未必皆彼此獨立，為改善IIA的缺點，以使模式更符合現實，而發展了巢式羅吉特模式(Nested Logit Model, NL)，其主要概念在於將有相關性之替選方案，分類於同一獨立巢層之中，並以包容值(Inclusive value)計算各巢間的相關性，一併建立出一個共同效用函數，之後再利用與多項羅吉特相同的原理，將各個獨立的替選方案利用 MNL 進行各方案的選擇機率評估。以兩層之巢式羅吉特模式為例，假設模型中有M個巢，其中一巢*m*有 N_m 個方案，方案*i*被選到的機率 P_i 及包容值 I_m 的定義如下式(7)、(8)：

$$P_i = P_m \times P_{i|m} = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in N_m} e^{V_j}} \times \frac{e^{u_m I_m}}{\sum_{k=1}^K e^{u_k I_k}} \quad (7)$$

$$I_m = \ln \sum_{j \in N_m} e^{(V_j)} \quad (8)$$

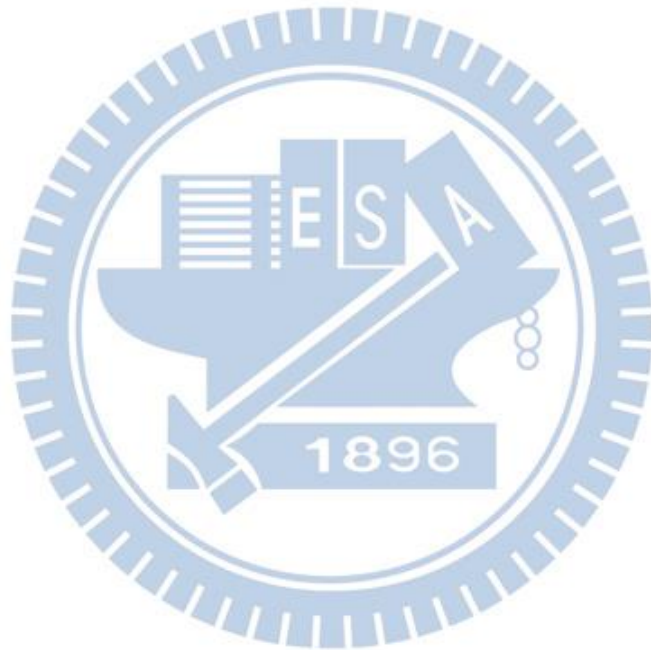
P_m ：巢*m*被選到之機率，介於 0~1 之間。

$P_{i|m}$ ：在巢*m*中的方案 *i* 被選到之條件機率。

I_m ：巢*m*的包容值變數。

u_m ：巢*m*的包容值參數，介於 0~1 之間。

本研究使用的乃是總計巢式羅吉特模式，亦是使用市佔率進行模式校估，其校估方法相當於依照層級對各分巢進行多項羅吉特校估，從最下層開始，再逐層往上校估。其中同一巢層內之相關性為 $1 - u_m$ ，因此當趨近 u_m 於0時，表示同一巢內之方案彼此間相關性越高；反之，當 u_m 趨近於1時，表示同一巢內之方案彼此間相關性越低。此外，當 u_m 值恰為1時，則表示巢式羅吉特可簡化為多項羅吉特，因此多項羅吉特模式為巢式羅吉特模型的一種特例。



3.2 模式結構設計

根據Hsiao and Hansen (2011)及Hsiao and Chen (2019)，兩篇研究中前者以航線，後者以航線—航空公司為單位進行分析，建構出討論旅次之航線選擇行為時，兩者提出NL3(如圖3.2)及NL4(如圖3.3)應為較合理之模式，而本研究為進一步探討旅次之目的地選擇行為，以更完整的描述旅次之選擇行為，將採用不同於前者模式固定旅次起迄兩端點之作法，而改以固定單一端點(起點都會區)進行模式建構，將最小分析單位定義為特定目的地上、由特定航空公司服務之航線，基於Hsiao and Hansen (2011)、Hsiao and Chen (2019)中所提出之巢式建構，加之考量直觀意義上，目的地間之競爭程度，應會小於機場和航線間的競爭，以及非航空方案資料蒐集之限制等諸多因素，設計出唯一種可能的五階層巢式羅吉特模式，該巢式架構的設計是依據—(1)是否選擇航空旅次、(2)都會區起迄對組合、(3)都會區起迄對中之機場起迄對組合，(4)機場起迄對中之航空公司組合，以及(5)航空公司中所有直飛及僅在樞紐機場轉機一次之航線組合，其中方案屬性越相近的特定航線，其替代性與競爭度越高，此外，本模式保有旅運者不選擇任何特定航線的方案，以使總需求量保有彈性。

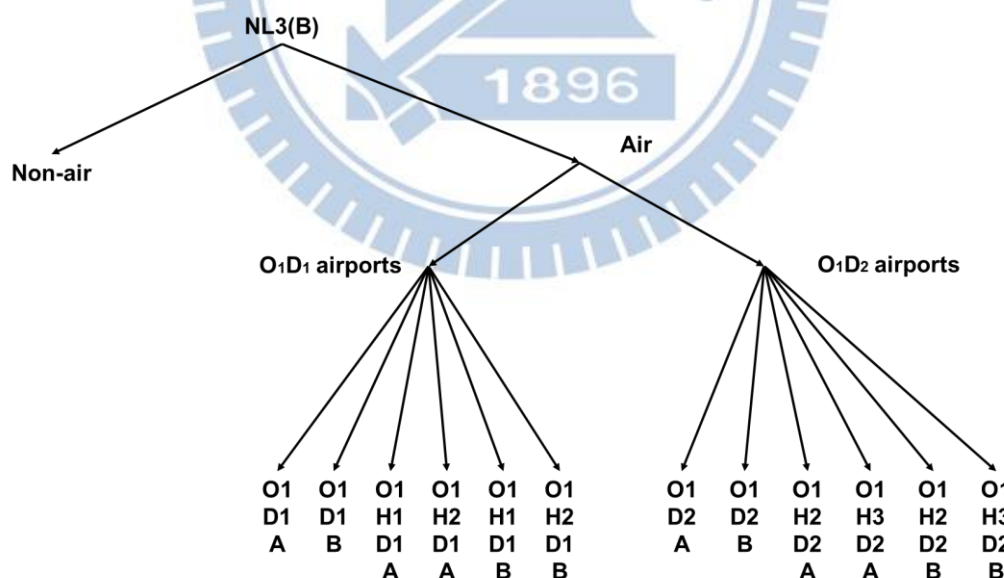


圖 3.2 NL3 巢式羅吉特模式架構圖

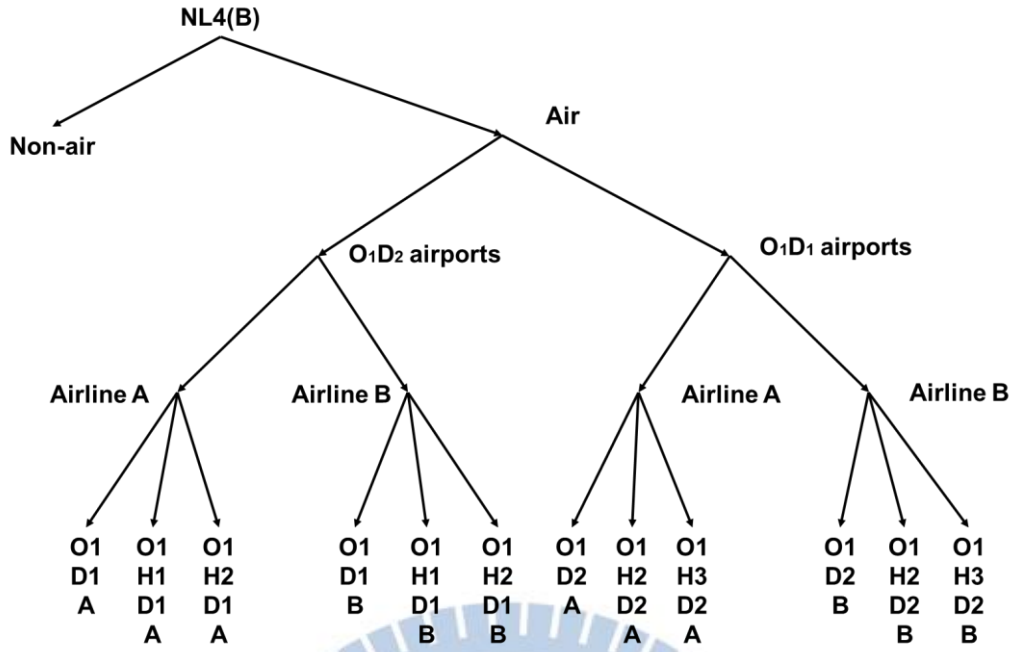


圖 3.3 NL4 巢式羅吉特模式架構圖

為說明本研究之巢式羅吉特模式結構，假設不選擇航空旅運方案標記為 Non-Air、產生航空旅次標記為 Air、起點都會區標記為 o (共有一個起點 o)、迄點都會區標記為 d (共有 i 個迄點都會區 $d_1 \sim d_i$)、起點機場標記為 a_1^o (共有 j 個起點機場 $a_1^o \sim a_j^o$)、轉機機場標記為 h (共有 m 個轉機機場 $h_1 \sim h_m$)、迄點機場標記為 d (共有 k 個迄點 $a_1^{d_1} \sim a_k^{d_i}$)，航空公司則標記為 l (共有 n 個轉機機場 $l_1 \sim l_n$)，詳見圖 3.4。

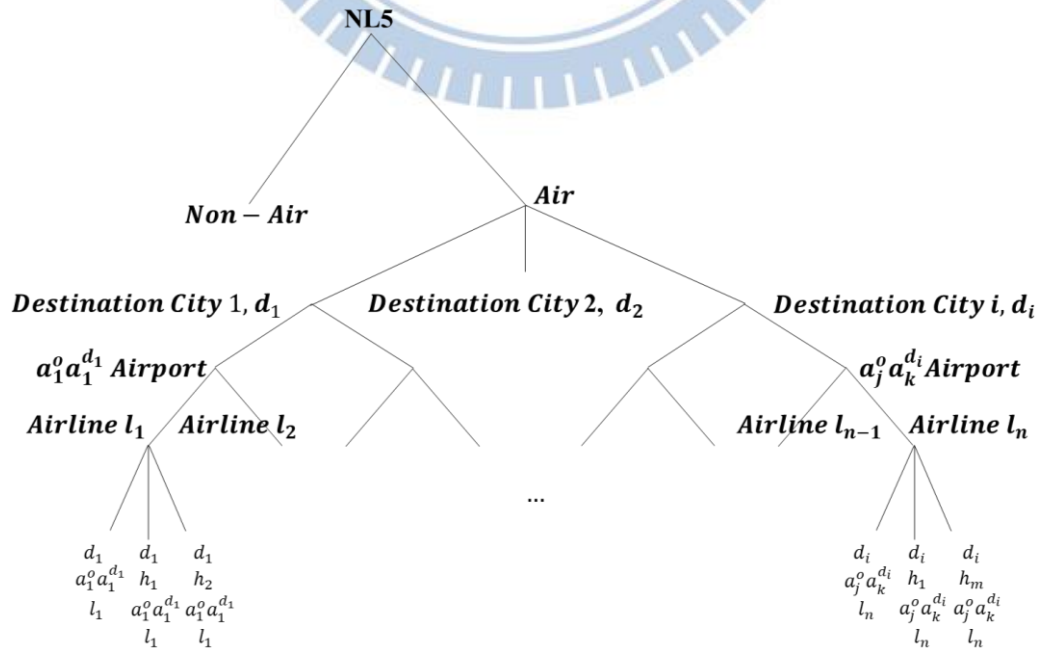


圖 3.4 NL5 巢式羅吉特模式架構圖

本研究所建構之五階層巢式架構，設計初衷是基於一旅次之選擇行為於目的地、起迄機場、航空公司及航線的方案間，其替代程度應有所不同而進行分層，模式中每相鄰之上下層皆各有一包容值，其係數可用以代表相鄰兩層級方案間競爭程度之關係，一共包含 4 個包容值，為方便後續說明並辨別，將每層包容值依序由下往上命名，分別為第五層包容值、第四層包容值、第三層包容值及第二層包容值，其中第五層包容值係數代表—(1)航線間的競爭程度及航空公司間的競爭程度，其相對之親疏關係、(2)同一巢層之航線間的替代程度，及(3)平行層級中的所有航空公司間之替代程度；第四層包容值係數代表—航空公司間的競爭程度及起迄機場間的競爭程度，其相對之親疏關係、(2)同一巢層之航空公司間的替代程度，及(3)平行層級中的所有起迄機場間之替代程度；第三層包容值係數代表—起迄機場間的競爭程度及目的地間的競爭程度，其相對之親疏關係、(2)同一巢層之起迄機場間的替代程度，及(3)平行層級中的目的地間之替代程度；第二層包容值係數代表—目的地間的競爭程度及航空旅次產生間的競爭程度，其相對之親疏關係、(2)同一巢層之目的地的替代程度，及(3)平行層級中的航空與非航空之替代程度，可搭配圖 3.5。

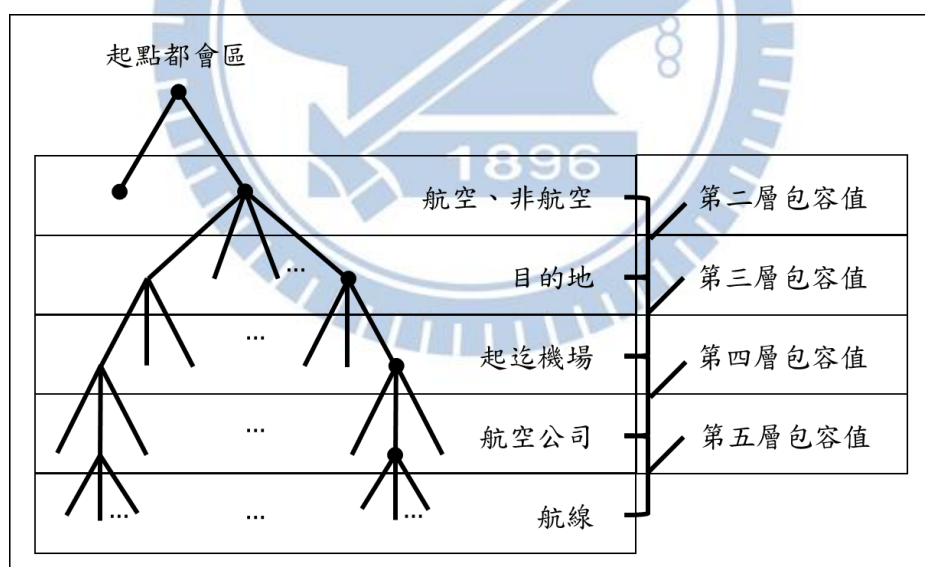


圖 3.5 各層包容值對應方案示意圖

3.3 旅運者選擇行為影響因素

本研究根據層級含義所需納入了各項影響因素，依照影響的層級與面向可分為三大類以及其他，分別是「航線—航空公司層級」、「迄點都會區層級」、「起點都會區層級」，以及「其他」，針對影響因素設計之變數說明，將依循因素所屬類別進行分述。

3.2.1 起點都會區層級

此層級即為需求產生之概念，探討影響起點都會區旅次出行傾向高低及使用航空運輸人數多寡的因素。

人均所得

當一起點都會區之人均所得越高，在經濟能力上，越可能有能力負擔出行，促使該起點都會區中的旅次出行傾向提高，此外，亦會提高旅次選擇航空作為運具之傾向，基於此二點，本研究預期校估結果為正號。

人均所得*第二層包容值

第二層包容值係數可用以呈現航空及非航空方案的替代程度，其值越小，航空及非航空間的替代性越小，為了呈現不同屬性之起點都會區，應會使兩方案替代程度不同，而設計此一交叉相乘項，預期校估結果為負號，人均所得較高的都會區，應越不容易由航空方案，轉往不旅行或其他運具，致使航空及非航空間之替代程度較低。

起點都會區之三級產業就業人口佔勞動人口比例

起點都會區三級產業就業人口，佔迄點都會區勞動人口比例越高，代表該都會區開發程度越高，越偏向已開發區域，而有更高機率產生商務旅次，提高起點都會區之出行傾向，並可能傾向選擇航空作為運具，此外亦隱含該起點都會區航空運輸設施可能相對完善之涵義，故預期校估結果為正號。

3.2.2 迄點都會區層級

此層級即為目的地選擇之概念，探討影響迄點都會區吸引力高低的因素。

都會區起迄對之距離

距離會影響到「運具選擇」以及「旅行傾向」兩方面。在運具選擇方面，當距離越長，選擇航空方案之旅運者可能越多，此時距離的預期符號為正；而

當距離到達某一長度，距離對於方案選擇的邊際效果減弱；在旅行傾向方面，當目的地距離越遠，起點都會區與目的地間互動越少、旅行傾向越低，此時距離的預期符號為負，與運具選擇預期符號相反，因此兩者效果會有抵消的作用，使得距離對效用的效果可能為一凹向下的曲線。本研究定義之距離為一組起迄城市對中，所有可能之起迄機場組合的直飛距離平均值(根據 DB1B 之直飛航線距離計算)，得出同一都會區起迄對平均距離。

迄點都會區觀光產業佔三級產業就業比例

計算方式為—迄點都會區觀光業就業人數除以迄點都會區三級產業就業人數，後續將簡稱為觀光就業比例，比例越高，代表迄點都會區之觀光發展越完善、具有越高的觀光吸引力，而可能吸引越多的觀光旅次，因此預期校估結果為正號。此外，迄點都會區觀光產業佔三級產業就業比例越高，除了代表迄點都會區具有較高的觀光吸引力外，尚隱含了其所吸引的旅次，有較高的可能性(或較高的比例)為觀光旅次。

迄點都會區觀光就業比例*都會區起迄對之距離

為了捕捉相較於商務旅次，觀光旅次在選擇目的地時，方案的吸引力更容易隨距離越遠而降低，因此設計了距離(百英里)*觀光產業佔三級產業就業比例此一交叉相乘項，並預期校估結果為負號。

迄點都會區觀光就業比例*第三層包容值

第三層包容值係數可用以呈現目的間的替代程度，其值越大，目的地間的替代性越大，為了呈現不同屬性之目的地，應會有不同的替代程度，而設計此一交叉相乘項。由於相較於商務旅次，觀光旅次應更可能出現目的地選擇行為，因此，預期校估結果為正號，代表觀光就業比例較高的都會區、客源越以觀光旅次為主的目的地，其替代程度較高。

迄點都會區之人口

迄點都會區人口越多，越可能吸引起點都會區之旅次，效用應越高，因此預期校估結果為正號。

迄點都會區之三級產業就業人口佔勞動人口比例

計算方式為—迄點都會區三級產業就業人口(不包含光觀產業就業人數)除以佔迄點都會區勞動人口，後續將簡稱為三級產業就業比例，比例越高，代表該都會區開發程度越高，越偏向已開發區域，而可能吸引較多的商務旅次，因此預期校估結果為正號。

3.2.3 航線—航空公司層級

票價

票價越高，可能降低對航線的需求，使旅運者的效用降低，因此預期符號為負。本研究以乘客數將票價進行加權平均，計算得出每季的航線—航空公司之平均票價，並以 2017 年第四季為基準，利用消費者物價指數對各其幣值進行折算，以消除通貨膨脹對票價所帶來之影響。

頻率

頻率越高，實際所能起飛或降落的時間點越可能接近旅運者的理想班機時間，因此效用應越高、預期符號為正，惟本研究將頻率採用自然對數的形式進行探討，表達頻率邊際效果遞減，當頻率很小時，增加一航班對旅運者所帶來的正向效果較大；當頻率增加到一定程度，對旅運者所帶來的正向效果應較小。頻率又可分為直飛頻率、一次轉機航線兩航段中較高之航段頻率、一次轉機航線的兩航段中較低之航段頻率，對於選擇一次轉機航線的旅運者，頻率較低的航段應為該航線的「關鍵頻率」，換言之，若將頻率較低的航段與頻率較高之航段提高相同比例的航班，頻率較低的航段增加航班所帶來的效益應更大。

航線類型

在其他條件一樣的情況之下，直飛對於旅運者而言應更加便利，因此預期符號為正。本研究將航線類型以虛擬變數的形式呈現，若為直飛航線則其值為 1，若為一次轉機航線則其值為 0，此變數用以表示直飛航線相對於轉機航線之差異。

表定飛行時間

表定飛行時間越長，可能使選擇該航線的旅次減少，此外同樣起迄都會區間之航線，可能因為採取直飛或轉機，而有不同的飛行時間，當轉機飛行時間越長，可能使選擇該轉機航線的旅次越少，因此預期校估結果符號為負號。此飛行時間指在空中飛行的時間，不包含轉機或其他在地面上等待的時間，轉機的表定飛行時間則為兩航段飛行時間之加總。

3.2.4 其他

其他因素包括機場本身的特性、季節性因素或時間趨勢的效果，本研究以虛擬變數的形式將上述因素納入模式。

將前述各層級之影響因素及其預期校估結果和含義彙整於表 3.1。

表 3.1 影響因素之變數設計、預期校估結果及其含義

層級	變數名稱 (單位)	預期 結果	預期校估結果之含義
航線 航空公司 層級 (5)	平均票價(百美元)	—	票價越低，航線對航空旅次的吸引力應越高
	表定飛行時間 (分鐘)	—	飛行時間越短，航線對航空旅次的吸引力應越高
	直飛航班頻率 (對數)	+	頻率越高，航線對航空旅次的吸引力應越高
	轉機航班兩航段中較高 頻率(對數)	+	頻率越高，航線對航空旅次的吸引力應越高
	轉機航班兩航段中較低 頻率(對數)	+	頻率越高，航線對航空旅次的吸引力應越高
	直飛的虛擬變數	+	直飛服務應會提高航線對航空旅次的吸引力
	樞紐轉機場虛擬變數組		各樞紐轉機場之固定效果
	年份虛擬變數組		各年份之固定效果
迄點都會區 層級 (2)	距離(百英哩)	無法預 期正負	距離越遠，目的地對旅次吸引力越小，然距離越遠，航空對旅次吸引力越大
	迄點都會區人口數(百 萬人)	+	人口越多，目的地對於航空旅次的吸引力越高
	迄點都會區觀光就業比 例	+	比例越高，目的地對於航空旅次的吸引力越高
	距離(百英哩) *觀光就業比例	—	距離越遠，觀光目的地對於航空旅次吸引力越低
	迄點都會區觀光就業比 例*第三層包容值	+	比例越高，目的地替代性越高
	迄點都會區三級產業就 業比例	+	比例越高，目的地對於航空旅次的吸引力越高
起點都會區 層級 (1)	起點都會區人均所得 (千美元)	+	所得越高，航空對於旅次的吸引力越高、產生旅次的可能也越高
	人均所得(千美元) *第二層包容值	—	所得越高，航空、非航空的替代性越低
	起點都會區三級產業就 業比例	+	比例越高，航空對於旅次的吸引力越高、產生旅次的可能也越高

資料來源：本研究整理

3.3 小結

由於常見之需求指派模式，多以「固定起迄兩端點」進行探討，較少採用固定起點，再進行目的地間之旅次指派的作法，因此較無前例可供參考，本研究將採用需求產生模式中，最為普遍之影響兩地交通量多寡的因素—人口、距離，除此之外，基於目的地選擇多發生於觀光旅次，而傳統觀光領域中目的地選擇，多採問卷調查作為樣本資料，鮮少採用縱橫資料(Panel Data)進行模式校估，而使得模式難以隨時間進行更新，為達成應用定期更新之可靠公開資料，來量化目的地屬性對於航空運輸需求所帶來之效果的目標，本研究自行設計了觀光就業比例及三級產業就業比例兩變數，欲分別用以捕捉目的地之觀光及商業屬性。

本研究擬選用總計巢式羅吉特模式，以固定旅次單一端點(起點都會區)之觀點，探討旅次於目的地及航線之選擇行為，分別於起點都會區層級、迄點都會區層級及航線—航空公司層級，依其各自之含義，納入額外變數。起點都會區層級，其意義為起點都會區空運旅次產生，以起點都會區之所得與起點都會區三級產業就業比例為解釋變數；迄點都會區層級，其意義為旅次之目的地選擇，以起迄兩地間之距離，迄點都會區之人口、迄點都會區觀光就業比例和三級產業就業比例為解釋變數；航線—航空公司層級，其意義為旅次之航線選擇，以票價、表定飛行時間、頻率與路線類型(直飛或轉機)為解釋變數。

第四章 資料蒐集與統計分析

本章首先說明本研究所採用之資料來源、篩選條件以及各資料庫整合方式，接著將各相關影響因素依照「起點都會區層級」、「迄點都會區層級」，以及「航線—航空公司層級」進行敘述性統計分析。

4.1 資料蒐集與篩選

本研究所使用之航班縱橫資料(Panel Data)，如：航線、票價、表定飛行時間、頻率、市場距離等，主要源自於美國運輸統計局(Bureau of Transportation Statistics, BTS)所公開的美國航空市場相關資料，包括 T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)、Origin and Destination Survey：DB1B Market、Airline On-Time Performance Data(AOTP)等三大資料庫，選取十四年，共五十六季的資料；起迄城市之社會經濟變數，則採用經濟分析局(Bureau of Economic Analysis, BEA)之人口與所得資料，以及勞動統計局(Bureau of Labor Statistic)之產業就業人數資料；而在後續分析中，為了產生工具變數，則自 Form 41 Financial Data 蒐集各航空公司油價成本資料，另外，針對幣值相關變數(包括：票價、所得與油價)，使用勞動統計局(Bureau of Labor Statistic)所蒐集之消費者物價指數(CPI)，以 2017 為基年進行折算，上述資料與來源整理見表 4.1。

表 4.1 資料來源彙整

變數名稱	資料來源
航線起迄點都會區人口數 航線起迄點都會區人均所得	Bureau of Economic Analysis
消費者物價指數(CPI) 都會區之觀光就業人口 都會區之三級產業就業人口	Bureau of Labor Statistics
頻率	T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)
表定飛行時間	Airline On-Time Performance Data
航線平均票價 航線長度 市場距離	Origin and Destination Survey：DB1B Market

資料來源：本研究整理

本研究參考 Hsiao & Chen (2019) 剔除不合理資料之標準，將票價或航線距離為 0、平均票價(航線票價除以航線距離)低於每英哩 0.04 美元或高於每英哩 10 美元、航線距離小於 50 英哩，以及起迄點位於同一都會區城市之航線等樣本皆刪除。

剩餘合理資料樣本中，本研究選取的研究期間為 2004 至 2017 年(共 56 季之資料)，研究範圍則定義為美國本土 48 洲航線，且轉機次數不大於一次之航線，因此先將非美國本土 48 洲(例如：阿拉斯加、夏威夷等)，以及轉機次數超過一次之航線資料刪除，而在機場篩選方面，將以乘客數篩選前百大起迄機場，並根據美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)所定義之核心樞紐(core)機場(詳可見表 4.2)，進一部針對轉機航班進行篩選，去除非選擇核心機場轉機的航線資料。

最終，於起點都會區層級共包含 4,260 個樣本、迄點都會區層級共包含 297,807 個樣本、起迄機場層級 442,703 個樣本、航空公司層級 1,508,062 個樣本、航線—航空公司層級 2,351,414 個樣本。



表 4.2 FAA 定義之核心樞紐機場及其所屬都會區

美國國內主要都會區	核心樞紐機場(機場代碼)
紐約(<i>New York</i>)	1. 約翰·甘迺迪國際機場(JFK) 2. 紐瓦克自由國際機場(EWR) 3. 拉瓜地亞機場(LGA)
洛杉磯(<i>Los Angeles</i>)	4. 洛杉磯國際機場(LAX)
芝加哥(<i>Chicago</i>)	5. 芝加哥歐海爾國際機場(ORD) 6. 芝加哥中途國際機場(MDW)
達拉斯－沃斯堡(<i>Dallas/Fort Worth</i>)	7. 達拉斯－沃斯堡國際機場(DFW)
休士頓(<i>Houston</i>)	8. 喬治·布希洲際機場(IAH)
華盛頓特區(<i>Washington D.C.</i>)	9. 華盛頓杜勒斯國際機場(IAD) 10. 隆納·雷根華盛頓國家機場(DCA)
費城(<i>Philadelphia</i>)	11. 費城國際機場(PHL)
邁阿密(<i>Miami</i>)	12. 邁阿密國際機場(MIA) 13. 勞德岱堡－好萊塢國際機場(FLL)
亞特蘭大(<i>Atlanta</i>)	14. 哈茲菲爾德－傑克遜國際機場(ATL)
波士頓(<i>Boston</i>)	15. 波士頓洛根國際機場(BOS)
舊金山－奧克蘭(<i>San Francisco/Oakland</i>)	16. 舊金山國際機場(SFO)
鳳凰城(<i>Phoenix</i>)	17. 鳳凰城天港國際機場(PHX)
底特律(<i>Detroit</i>)	18. 底特律都會韋恩縣機場(DTW)
西雅圖(<i>Seattle</i>)	19. 西雅圖國際機場(SEA)
明尼阿波利斯－聖保羅(<i>Minneapolis/Saint Paul</i>)	20. 明尼亞波利斯－聖保羅國際機場(MSP)
聖地牙哥(<i>San Diego</i>)	21. 聖地牙哥國際機場(SAN)
坦帕(<i>Tampa</i>)	22. 坦帕國際機場(TPA)
丹佛(<i>Denver</i>)	23. 丹佛國際機場(DEN)
巴爾的摩(<i>Baltimore</i>)	24. 巴爾的摩華盛頓機場(BWI)
夏洛特(<i>Charlotte</i>)	25. 夏洛特道格拉斯國際機場(CLT)
奧蘭多(<i>Orlando</i>)	26. 奧蘭多國際機場(MCO)
曼非斯(<i>Memphis</i>)	27. 孟菲斯國際機場(MEM)
拉斯維加斯(<i>Las Vegas</i>)	28. 拉斯維加斯麥卡倫國際機場(LAS)
鹽湖城(<i>Salt Lake City</i>)	29. 鹽湖城國際機場(SLC)

資料來源：FAA 定義之核心樞紐機場

在完成資料篩選後，為整合由不同資料庫所取得之供給面資料，本研究以 DB1B 所蒐集之航線資料為基準(包含航線平均票價、航線長度、市場距離)，將不同資料庫所蒐集之屬性變數，依其於模式所屬之層級，以不同單位進行處理，其中以航線—航空公司為單位之變數，包含 T-100 的頻率、AOTP 的表定飛行時間；Form 41 的油價則以航空公司為單位；以起迄都會區為單為者，則涵蓋了 BEA 的人口數、所得，以及 BLS 的各產業就業人數。

票價方面，以航線—航空公司為單位，用乘客數做加權平均；航線距離方面，亦以航線—航空公司為單位，採用航班數做加權平均；路線類型方面，若為直飛則為 1，否則為 0；頻率方面，可分為直飛頻率與轉機頻率，直飛僅有一個航段，以航段為單位、用班次數做加權平均，可得平均直飛航段頻率，若為轉機航班會包含兩個航段，將分別算出兩航段之平均後再加總；表定飛行時間方面，直飛航班之表定飛行時間用班次數做加權平均，若為轉機航班則分別算出兩航段之平均後再加總。

人口數方面，由於所蒐集之原始都會區人口數為年資料，故以年資料之差配合內插法計算出每季的平均人口數；所得方面，所蒐集之原始都會區人均所得亦為年資料，因此本研究假設每年內的各季總所得呈線性變化，將兩年之差除以四計算出每季的算數平均總所得；航空公司油價方面，將每航空公司之每季油價消耗總量除以每季油價總成本，計算出每季平均每加侖油價；各產業就業人數方面，僅留下觀光業以及三級產業之就業人數，此外，由於所蒐集之原始產業就業人數為月資料，故分別取各都會區每 3 個月之就業人數的算術平均，作為各都會區觀光業以及三級產業每季之就業人數。

4.2 整體資料敘述性統計分析

為方便後期檢視校估結果之合理性，在進行模式校估前，將依照巢層由上往下，做敘述性統計分析，觀察不同範圍之航空需求量與各變數的基本情況。

4.2.1 起點都會區層級

起點都會區層級的屬性包含了人均所得、三級產業就業人數佔勞動人口之比例，此二變數會影響都會區之特性，敘述性統計如下表 4.3，其中又將乘客數及各屬性變數依含義分為兩種進行探討—(1)不分起點都會區之歷年數值，用以觀察變數由 2004 至 2017 年之變化，(2)各都會區之歷年平均數值，用以觀察各都會區之屬性差異，屬性變數中之三級產業就業人數佔勞動人口之比例越高，則代表該都會區越偏向已開發地區，商業發展程度越高。

表 4.3 起點都會區相關屬性之敘述性統計

定義	起點都會區		平均數	標準差	第 25 百分位	中位數	第 75 百分位
不分起點都會區之歷年數值	需求量	乘客數(百萬人)	267.71	24.69	249.89	261.32	276.35
	屬性	人均所得(千美元)	41.43	4.78	38.56	40.34	45.13
		三級產業就業人數佔勞動人口之比例	0.79	0.02	0.78	0.79	0.80
各都會區歷年平均數值	需求量	乘客數(百萬人)	3.43	4.63	0.47	1.50	4.27
	屬性	人均所得(千美元)	41.50	6.06	37.71	40.75	44.14
		三級產業就業人數佔勞動人口之比例	0.78	0.07	0.76	0.79	0.07

4.2.2 迄點都會區層級

迄點都會區層級的屬性包含了市場距離、人口數、三級產業就業人數佔勞動人口之比例，及觀光產業就業人數佔三級產業就業人數之比例，用來描述迄點都會區的特性，敘述性統計如下表 4.4，其中乘客數所代表之需求涵義又分為三種—(1)各迄點都會區之歷年平均乘客數，用以觀察各迄點都會區吸引的需求量，(2)不分都會區起迄對之歷年平均乘客數，用以觀察整體都會區起迄對之需求量大於 2004 至 2017 年的變化，(3)各都會區起迄對之歷年平均乘客，用以觀察各都會區起迄對需求量的分布，由(3)之統計結果，可看出都會區起迄對間之需求變異相當大，而屬性變數則為各都會區之歷年平均數值，三級產業就業人數佔勞動人口之比例越高，則代表該都會區越偏向已開發地區，商業發展程度越高；觀光產業就業人數佔三級產業就業人數之比例越高，則用來代表該都會區之觀光發展程度越高。

表 4.4 迄點都會區相關屬性之敘述性統計

迄點都會區		平均數	標準差	第 25 百分位	中位數	第 75 百分位
需求 量	(1)乘客數(百萬人)	3.43	4.63	0.47	1.50	4.27
	(2)乘客數(千人)	49.22	4.60	46.01	47.95	50.50
	(3)乘客數(千人)	47.45	153.60	1.46	6.00	30.84
迄 點 都 會 區 屬 性	起迄都會區距離 (英哩)	1330.43	658.48	829.00	1200.00	1796.35
	人口(百萬人)	2.82	0.90	1.59	2.88	3.65
	三級產業就業人數佔 勞動人口之比例	0.79	0.02	0.78	0.79	0.80
	觀光產業就業人數佔 三級產業就業人數之 比例	0.12	0.05	0.11	0.12	0.13

4.2.3 航線—航空公司層級

航線—航空公司層級的解釋變數包含票價、表定飛行時間、直飛頻率、轉機兩航段中較高之頻率、轉機兩航段中較低之頻率，以及直飛的虛擬變數，敘述性統計如下表 4.5，其中乘客數所代表之需求涵義為—各航線歷年平均乘客數，用以觀察各航線需求量的分布，由統計結果可看出航線需求量變異甚大。

表 4.5 航線—航空公司層級解釋變數之敘述性統計

航線—航空公司		平均數	標準差	第 25 百分位	中位數	第 75 百分位
需求量	乘客數(千人)	6.36	6.15	0.16	0.68	2.24
解釋變數	航線距離(英哩)	1632.22	741.11	1044.00	1566.00	2223.00
	表定飛行時間(分)	276.68	96.44	206.12	269.20	347.42
	航線票價(美元)	0.18	0.16	0.11	0.14	0.21
	直飛頻率(班)	384.52	22.56	367.68	381.99	394.59
	轉機兩航段中較高之頻率(班)	535.32	26.97	514.29	534.45	548.13
	轉機兩航段中較低之頻率(班)	247.11	18.16	235.34	244.46	253.56

4.2.4 工具變數

由於票價與需求量間可能存在內生性問題，因此本研究於後續建模過程中將選取適當工具變數，解決此問題，參見圖 4.1 可初步得知，票價之波動深受油價影響，而航空成本面之變數，又不會直接影響需求量，因此符合工具變數所需要的特性—(1)與欲替代的變數存在一定相關性，(2)不會影響依變數。

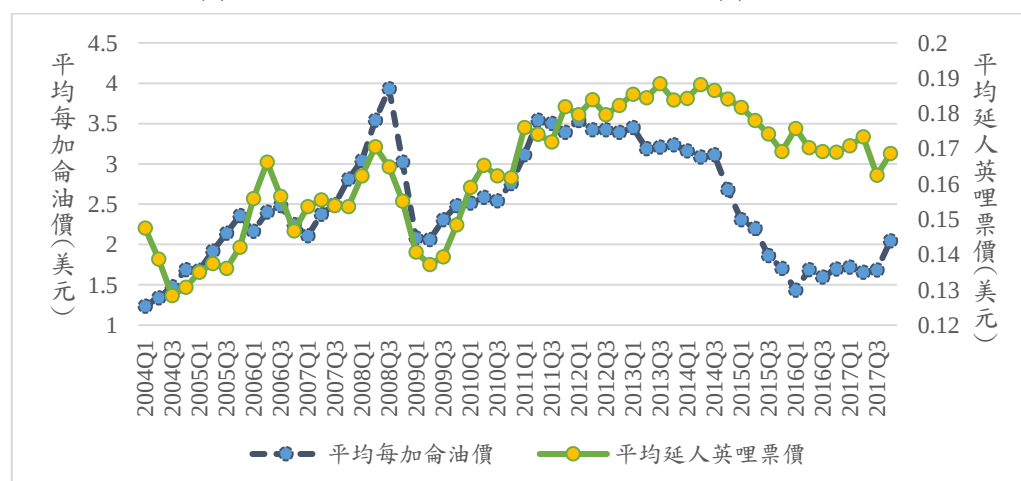


圖 4.1 票價及油價趨勢圖

第五章 模式校估與應用

5.1 模式校估與結果分析

本研究之研究範圍將涵蓋美國前百大機場中之所有直飛及經樞紐機場一次轉機之所有航線，蒐集之縱橫資料(Panel Data)橫跨 14 年(共 56 季)，以起點都會區為市場，市場中之「特定目的地、特定航空公司服務之航線」為分析單位，進行旅運者之「目的地選擇」、「航空公司」及「航線選擇」的模式校估，依照旅運者選擇行為間競爭程度之親疏關係進行巢層設計，基於 Hsiao and Chen (2019)提出之巢式建構、非航空方案資料蒐集之限制，及直觀方案競爭親疏關係，設計出唯一種可能的五階層巢式模式。

在正式進入模式校估前，為更清楚說明各層級之方案，這邊將以實際資料舉例輔助說明，其中美國前百大機場座落的所有都會區皆為起點，每個起點都會區皆為一獨立巢式結構，如：洛杉磯；起點都會區層級包含洛杉磯都會區所有潛在需求，分別可選擇航空及非航空；迄點都會區層級包含由洛杉磯出發，所有可以藉直飛或於樞紐轉機場轉機不大於一次的航線到達的目的地，如：波士頓；起迄機場層級包含洛杉磯和波士頓都會區中的所有機場，如：由洛杉磯的 LAX 機場飛往波士頓的 BOS 機場；航空公司層級包含所有提供自 LAX 機場飛往 BOS 機場服務的航空公司，如：西南航空公司；航線—航空公司層級包含所有由西南航空公司提供自 LAX 機場飛往 BOS 機場的航線，如：由西南航空公司提供，自 LAX 機場，經 ATL 樞紐轉機場轉機，飛往 BOS 機場的航線。

5.1.1 模式設定與校估流程

模式設定

本研究建構之五階層巢式羅吉特模式，其各巢層之含義由上往下依序為(1)旅次產生，包含了起點都會區的所有潛在需求，以保持整體需求的彈性、(2)目的地選擇，此一層級中的每個方案皆為一對都會區起迄對，即為其他需求模式常定義的分析單位、(3)起迄機場選擇，可用以討論都會區中的多機場問題、(4)航空公司選擇，以及(5)航線選擇；各巢層之方案定義由上往下依序為—(1)起點都會區之航空及非航空方案(包含不旅行)、(2)所有可藉直飛或經樞紐機場轉機次數不大於一次到達之都會區、(3)特定起迄都會區對間所有起迄機場組合、(4)特定機場起迄對間提供服務的所有航空公司，以及(5)特定迄點都會區、特定機

場起迄對、特定航空公司服務之所有直飛或轉機不大於一次之航線組合，詳可參見圖 5.1，其中方案屬性越相近的特定航線，其替代性與競爭度越高。

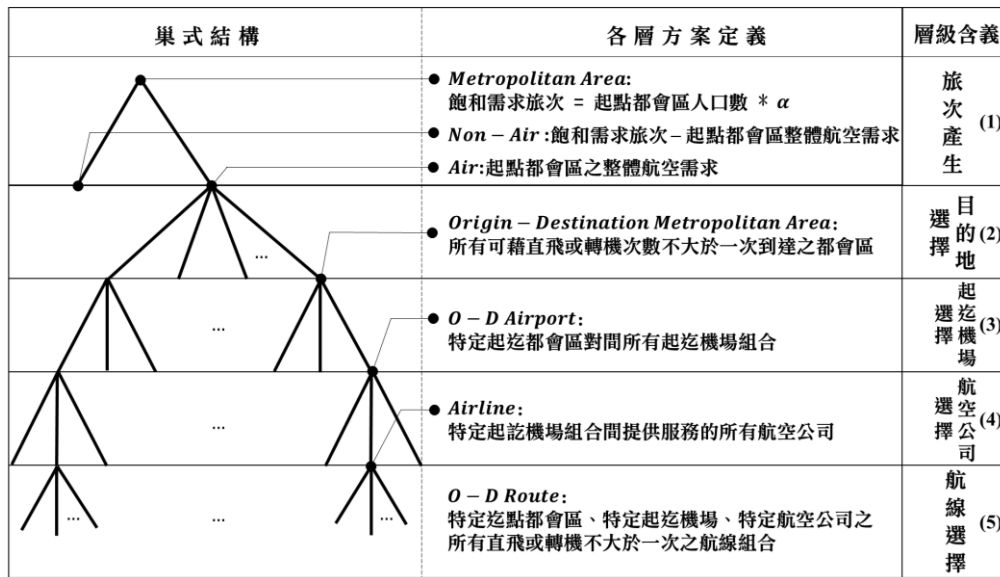


圖 5.1 巢式結構與各層方案定義示意圖

其中起點都會區之潛在總需求數之計算方式—起點都會區之人口數乘以一 α 值，此 α 值之涵義為起點都會區中每人每季的城際旅次數，本研究假設 α 值為 10，意即起點都會區中每人每季的城際旅次數為 10 次。

為處理旅次之選擇行為於目的地、起迄機場、航空公司及航線的方案間，其替代程度應有所不同而進行分層，模式中每相鄰之上下層皆各有一包容值，其係數可用以代表相鄰兩層級方案間競爭程度之關係，一共包含 4 個包容值，各層級包容值係數含義詳可參見 3.1.3 模式架構。

此外，本研究欲呈現屬性不同之目的地，其替代性會有所不同的特性，而設計第三層包容值*觀光就業比例此一交叉相乘項；欲呈現屬性不同的起點都會區，其航空及非航空兩方案替代性亦會有所不同，而設計第二層包容值*人均所得此一交叉相乘項；欲呈現目的地之觀光吸引力會隨距離拉長而變小，而設計都會區起迄對距離*觀光就業比例此一交叉相乘項。

在每個巢式結構中，除了包容值外，尚依據每個層級所代表的涵義，納入其餘解釋變數，航線—航空公司層級意在探討旅次之航線選擇行為，模式採納之變數包含平均票價(百美元)、表定飛行時間(分鐘)、直飛航班頻率(對數)、轉機航班兩航段中較高之頻率(對數)、轉機航班兩航段中較低之頻率(對數)、直飛的虛擬變數、樞紐機場虛擬變數組，以及年份之虛擬變數組。

起點都會區層級旨欲用於探討旅運者目的地選擇行為，模式納入用以解釋

目的地選擇行為之相關變數，包含距離(百英哩)、距離(百英哩)*迄點都會區觀光就業比例、迄點都會區人口數(百萬人)、迄點都會區觀光就業比例，以及迄點都會區三級產業就業比例，其中為捕捉距離對需求可能呈現先正後負的效果，而將距離設計為距離(百英哩)及距離平方(百英哩)。

起點都會區層級則是依照市場(航空與非航空、不旅行)分巢，相當於需求產生之意涵，故除了包容值，尚納入了起點都會區人均所得(美元)和起點都會區三級產業就業比例作為解釋變數。

校估流程

本研究採用總計巢式羅吉特模式進行模式校估，針對單一個巢式架構的校估方式為由下往上依序校估每一層，以各方案的市佔率取對數作為依變數，模式中方案的市佔率定義為乘客選擇該方案之比例，而用來描述方案間不同屬性的變數作為自變數，各層具體做法為—首先將同一巢之所有方案設為一群，每群隨機選取任一方案作為基底方案，各方案屬性、市佔率(對數)皆與基底方案之屬性、市佔率(對數)作相減，得出每一屬性及其市佔率之差值，並利用「市佔率差值」與「變數差值」作線性迴歸，而校估出最下層各變數的係數後，即可進一步計算各方案之效用—各屬性乘以對應係數之總和($V_i = constant + \sum_{i=1} \beta_i * X_i$)；計算出方案效用後，對其取指數($\text{Exp}(V_i)$)，再分巢加總並取對數($\ln \sum_j \text{Exp}(V_j)$)，此值即為包容值，包容值接著成為相鄰上層巢層中的其中一個自變數。

最後，由於票價與市佔率可能存在內生性問題，故本研究將選用適當工具變數進行處理，欲採用成本面資料作為工具變數，最終選取「油價」資料作為工具變數，此一與票價高度相關，但與市佔率較無關係之變數，並將變數設計為油價*航線距離(本研究採用航空公司別之平均油價)，再加入航線距離，利用兩階段最小平方法進行校估，將迴歸分為兩個階段，第一階段以票價作為依變數，自變數則包含工具變數(油價*航線距離、航線距離及同階層之其他變數(表定飛行時間、直飛航班頻率、轉機航班兩航段中較高頻率、轉機航班兩航段中較低頻率、直飛虛擬變數等)；第二階段則以由第一階段所預測之票價，取代原有票價資料，進行第二階段迴歸分析。

5.1.2 校估結果分析

為完整闡述結果與比較分析，本研究將分別呈現未考慮方案競爭程度之多項羅吉特模式，與考量了替選方案間相關性的巢式羅吉特模式，其中每種模式又進一步分為採用及未採用工具變數兩種，故一共包含——未考慮方案競爭程度且未採用工具變數的多項羅吉特模式(MNL(OLS))、未考慮方案競爭程度但採用工具變數的多項羅吉特模式(MNL(IV))、考量替選方案間相關性但未採用工具變數的巢式羅吉特模式(NL5(OLS))，以及考量替選方案間相關性且採用工具變數的巢式羅吉特模式(NL5(IV)) 4 種模式。

將前述提及之 4 種模式之校估結果彙整於表 5.1，整體而言，所有變數之係數均顯著，係數正負號亦符合預期；在巢式架構方面，NL5 之包容值係數的 95%信賴區間均介於 0 與 1，顯示模式結構合理；在工具變數方面，不論是 MNL(IV)或 NL5(IV)，航線距離*油價單位成本與航線距離的係數均非常顯著，為進一步檢視本研究所建構之考量了方案間替代程度，及採用了工具變數後的巢式羅吉特模式是否能更精確、合理地捕捉旅次產生及選擇行為，本研究將依各巢層級由下往上，針對校估結果進行後續分析。

表 5.1 模式校估結果

層級	變數名稱 (單位)	MNL(OLS)	MNL(IV)	NL5(OLS)	NL5(IV)
		係數 (標準誤)	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)	係數 (標準誤)
航線—航空公司層級 (C)	航線距離*油價單位成 (英哩—千美元)	- -	0.0001*** (0.0000)	- -	0.0125*** (0.0003)
	航線距離	- -	0.0010*** (0.0000)	- -	0.0017*** (0.0000)
	平均票價(百美元)	-0.2397*** (0.0008)	-0.8265*** (0.0039)	-0.0917*** (0.0005)	-0.8965*** (0.0068)
	表定飛行時間 (分鐘)	-0.0145*** (0.0000)	-0.0092*** (0.0000)	-0.0174*** (0.0000)	-0.0086*** (0.0001)
	直飛航班頻率 (對數)	0.9520*** (0.0027)	0.7928*** (0.0029)	1.3758*** (0.0021)	1.2095*** (0.0026)
	轉機航班兩航段中較高 頻率(對數)	0.3362*** (0.0018)	0.3783*** (0.0018)	0.5256*** (0.0013)	0.6115*** (0.0015)
	轉機航班兩航段中較低 頻率(對數)	0.5808*** (0.0013)	0.6160*** (0.0013)	0.7061*** (0.0009)	0.7435*** (0.0001)
(4)	直飛的虛擬變數	2.9674*** (0.0171)	4.2374*** (0.0212)	3.0041*** (0.0143)	5.0081*** (0.0021)
	第五層包容值(λ_r/λ_c)	- -	- -	0.9399*** (0.0004)	0.9269*** (0.0004)
	第四層包容值(λ_c/λ_a)	- -	- -	0.8603*** (0.0067)	0.9086*** (0.0054)
迄點都會區層級 (2)	距離(百英哩)	0.2902*** (0.0008)	0.3461*** (0.0008)	0.3924*** (0.0013)	0.2412*** (0.0013)
	距離平方 (百英哩)	-0.0027*** (0.0000)	-0.0030*** (0.0000)	-0.0053*** (0.0000)	-0.0052*** (0.0000)
	迄點都會區人口數(百 萬人)	0.0058*** (0.0002)	0.0020*** (0.0001)	0.0284*** (0.0000)	0.0269*** (0.0000)
	觀光就業比例	0.3311*** (0.0469)	1.4239*** (0.0475)	-0.2173*** (0.0213)	-1.0728*** (0.2346)
	距離(百英哩) *觀光就業比例	0.0455*** (0.0029)	-0.0231*** (0.0029)	-0.0624*** (0.0071)	-0.0591*** (0.0073)
	觀光就業比例 *第三層包容值	- -	- -	0.3188*** (0.0182)	0.3600*** (0.0187)
	三級產業就業比例	-0.1967*** (0.0149)	0.3159** (0.0153)	1.3384*** (0.0254)	1.6742*** (0.0259)
	第三層包容值(λ_a/λ_d)	- -	- -	0.7453*** (0.0025)	0.7638*** (0.0083)
起點都會區層級 (1)	起點都會區人均所得 (千美元)	-0.0797*** (0.0001)	-0.0816*** (0.0001)	0.3651*** (0.0130)	0.3928*** (0.0145)
	人均所得(千美元) *第二層包容值	- -	- -	-0.0119*** (0.0007)	-0.0121*** (0.0008)
	三級產業就業比例	1.9315*** (0.0148)	1.3825*** (0.0153)	0.5749*** (0.1470)	0.3627** (0.1522)
	第二層包容值(λ_d/λ_m)	- -	- -	1.0091*** (0.0324)	1.0753*** (0.0355)
	常數項(第一層)	-13.51*** (0.0241)	-14.47*** (0.0246)	-25.53*** (0.5841)	-26.78*** (0.6528)

*樞紐機場、年份虛擬變數亦被納入模式，但未呈現於此表中

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

票價與飛行時間方面，四種模式(MNL(OLS)、MNL(IV)、NL5(OLS)、NL5(IV))之票價係數與飛行時間係數均顯著且為負。然而，在使用工具變數前，係數所隱含之時間價值明顯高估，推測可能原因為票價內生性會使得票價係數被低估；使用工具變數後，係數所隱含之票價彈性明顯低估(將於後續詳細說明)、時間價值明顯降低且合理許多，顯見內生性問題處理之重要性。

頻率相關變數都以對數的形式校估，故其係數代表的是頻率變動百分比之效果，三個頻率變數之係數均顯著且為正，代表頻率越高市佔率越高；且在NL5模式中，轉機航班兩航段中頻率較低者之係數(95%信賴區間為 0.7434 至 0.7436)顯著大於轉機航線兩航段中頻率較高者(95%信賴區間為 0.6100 至 0.6130)。直飛航線的虛擬變亦顯著且為正值，與預期相符，表示旅運者對直飛航線有所偏好。

由於都會區起迄對距離相關變數有三(距離、距離平方、距離*觀光就業比例)，為更清楚地了解距離與效用之間的關係，本研究將距離跟所有與之交叉相乘的項目合併成其係數(如式(9))，計算所得係數結果會落於正的區間，代表當距離越遠時，越多旅次會傾向選擇航空作為運具，與預期相符，此外，由距離平方項校估結果為負可知，距離之影響會呈先遞增後遞減的效果，原因為當距離越長時，航空方案吸引力越大，但當距離過長，目的地吸引力就會降低，且由距離*觀光就業比例校估結果為負可知，目的地吸引力中的觀光吸引力，隨距離降低之效果尤為明顯，參見圖 5.2。

$$(0.2412 - 0.0052 * \text{距離} - 0.0591 * \text{觀光就業比例}) * \text{距離} \quad (9)$$

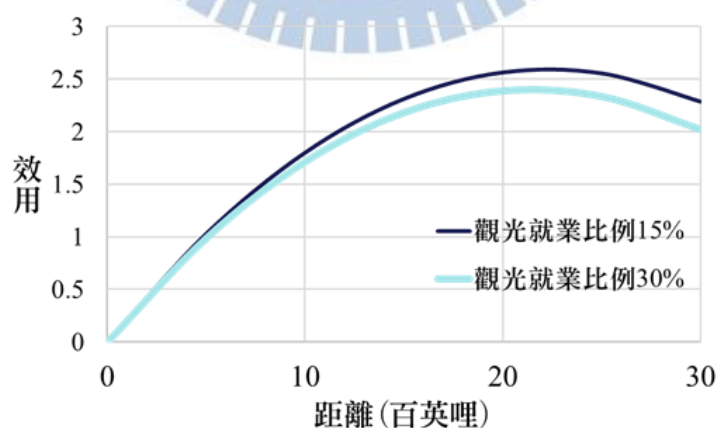


圖 5.2 NL5 都會區起迄對距離與效用關係圖

後續具有交叉相乘項之變數，皆採取類同距離變數之處理方式，將變數及與之交叉相乘的項目合併成其係數，檢視變數與效用之關係，並進一步分析交叉相乘項校估結果之含義。迄點都會區觀光就業比例相關變數有三(觀光就業比例、觀光就業比例*第三層包容值、觀光就業比例*距離)，整理如式(10)，計算所得係數結果會落於正的區間，代表當迄點都會區觀光休閒吸引力越大時，可吸引越多休閒旅次，與預期相符，此外，由觀光就業比例*第三層包容值校估結果為正可知，觀光吸引力會隨起迄機場服務水準提高而變大；由觀光就業比例*距離校估結果為負可知，觀光吸引力會隨距離拉長而變小。

$$(-1.0728 + 0.3600 * \text{第三層包容值} - 0.0591 * \text{距離}) * \text{觀光就業比例} \quad (10)$$

迄點都會區包容值相關變數有二(第三層包容值、觀光就業比例*第三層包容值)，整理如式(11)，計算所得係數結果會落於 0.78~0.88 間，包容值係數仍會介於 0~1，顯示模式結構合理，此外，正如前述所說，為了呈現屬性不同的目的地，會具有不同的替代性，而設計了包容值*觀光就業比例這個交叉相乘項，根據校估結果為正可知，越以觀光休閒為主要吸引力的目的地，越可能被其他目的地替代。

$$(0.7638 + 0.3600 * \text{觀光就業比例}) * \text{第三層包容值} \quad (11)$$

起點都會區人均所得相關變數有二(人均所得、人均所得*第二層包容值)，整理如式(12)，計算所得係數結果會落於正的區間，代表所得越高的都會區，會吸引越多需求，原因包含有較高的出行傾向、及更願意選擇航空為運具，此外，由所得*第二層包容值校估結果為負可知，當目的地吸引力越大時，所得對旅運者出遊意願的影響越小。

$$(0.3928 - 0.0121 * \text{第二層包容值}) * \text{人均所得} \quad (12)$$

起點都會區包容值相關變數有二(第二層包容值、所得*第二層包容值)，整理如式(13)，計算所得係數結果會落於 0.05~0.77 間，包容值係數會介於 0~1，顯示模式結構合理，此外，為呈現屬性不同的起點都會區，航空及非航空方案會具有不同的替代性，而設計了第二層包容值*所得這個交叉相乘項，根據校估結果為負可知，所得越高的起點都會區，航空方案越不容易被非航空替代。

$$(1.0753 - 0.0121 * \text{人均所得}) * \text{第二層包容值} \quad (13)$$

接著，為了進一步檢測此模式係數之合理性，針對票價係數所隱含之時間價值和票價彈性進行進一步分析。使用工具變數前後之時間價值如下表 5.2。在時間價值方面，將表定飛行時間的係數除以票價係數，以計算模式係數所隱含之每小時飛行(機內)時間價值。根據美國勞動統計局(BLS)2017 年的薪資資料(Weekly and hourly earnings data from the current population survey)，時薪中位數約為 21.5 美元；未使用工具變數的 MNL 時間價值為每小時 362.95 美元(與時薪中位數之比值為 1688%)，使用工具變數後下降為每小時 66.79 美元(與時薪中位數之比值為 311%)；未使用工具變數的 NL5 時間價值為每小時 1138.5 美元(與時薪中位數之比值為 5295%)，使用工具變數後下降為每小時 57.56 美元(與時薪中位數之比值為 268%)，顯見無論是 MNL 或 NL5，使用工具變數後，時間價

值明顯降低且合理許多。

表 5.2 表定飛行時間之時間價值比較表

項目 \ 巢式結構	MNL(OLS)	MNL(IV)	NL5(OLS)	NL5(IV)
時間價值(美元/小時)	362.95	66.79	1138.50	57.56
時間價值與 時薪中位數之比值(%)	1688%	311%	5295%	268%

在票價彈性方面，將計算都會區起迄對(city-pair)和起點都會區票價彈性，都會區起迄對票價彈性是將都會區起迄對所有航空方案的原票價都提升百分之一，估計都會區起迄對航空方案市佔率的變化，藉此得到都會區起迄對的票價彈性；起點都會區票價彈性是將起點都會區所有航空方案的原票價都提升百分之一，估計起點都會區航空方案市佔率的變化，藉此得到整個起點都會區的票價彈性。進一步將本研究之都會區起迄對票價彈性與文獻對照(因過往文獻多將分析單位定義為都會區起迄對)，發現 Lurkin (2016)之平均票價彈性約為-1.19、Hsiao and Hansen (2011) 之票價彈性中位數為-1.2，Hsiao and Chen (2019) 之票價彈性中位數為-0.98，Gillen et al. (2002)的彈性中位數為-1.15，對照後發現本研究的票價彈性大於過往文獻，推測可能原因為—過往的需求模式，在票價產生變化時，難以捕捉旅次於目的地的選擇行為，而可能低估了旅次對於價格的敏感程度；此外，當需求範圍由都會區起迄對放大到起點都會區，並將變換目的地也納入、變成旅運者因應票價變動的一種手段，此時，旅次就越不容易因為票價上漲，而選擇取消出門旅遊、或換成別的運具，預期起點都會區票價彈性應小於都會區起迄對票價彈性，計算結果與預期相符。茲將相關研究與文獻所得之票價彈性機率分配繪製如圖 5.3，由圖可知，過去將分析單位定義在都會區起迄對的文獻所得之票價彈性，多會落於本研究之 NL5(IV)模式所得出的都會區起迄對(city-pair)和起點都會區票價彈性之間，顯見本研究建構之 NL5(IV)模式係數合理，且若未於模式中考量目的地替代性，則可能低估了旅運者對於價格的敏感程度。

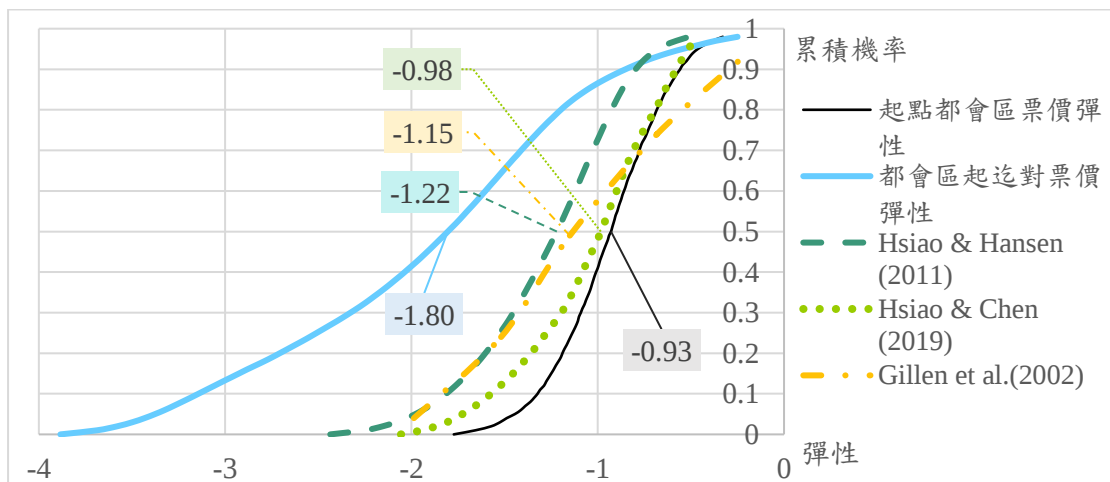


圖 5.3 價格彈性累積機率圖(使用 IV)

此外，基於本研究設計之一屬性不同的目的地，其替代性不同的特性，這邊進一步將前述探討之都會區起迄對票價彈性(探討當同一都會區起迄對間之所有航線，其票價皆提升百分之一，其餘都會區起迄對票價不變時，該對都會區起迄對的票價需求彈性)，依觀光就業比例高低分為三組，分別為觀光就業比例在15%以下、15~30%、30%以上，由圖 5.4 可看出，隨著觀光產業就業人數佔三級產業就業人數比例的增加，票價彈性之絕對值亦會跟著提升，意即越以觀光休閒為主要吸引力的目的地，在提高票價之際，旅客越容易改變其選擇、轉而前往其他目的地。

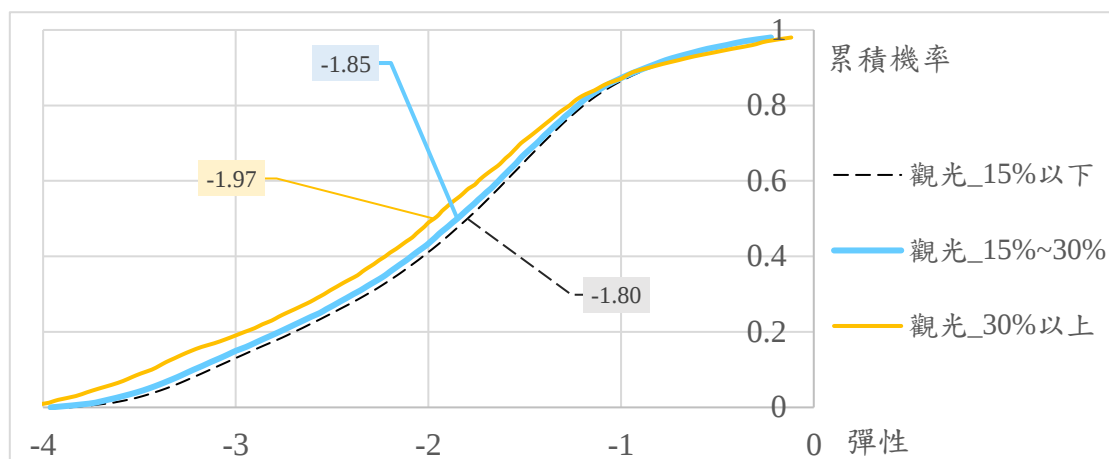


圖 5.4 依觀光產業就業比例分組之票價彈性機率累積圖

同樣，基於本研究設計之屬性不同的起點都會區，其航空和非航空間替代性不同的特性，這邊將前述探討之都會區起迄對票價彈性(探討同一起點都會區出發之所有航線，其票價皆提升百分之一，該起點都會區的票價彈性)，依人均所得高低分為三組，分別為人均所得在3萬美元以下、3萬~5萬5美元、5萬5美元以上，由圖 5.5 可看出，隨著人均所得的增加，票價彈性之絕對值會逐漸變小，意即平均來說所得越高的起點都會區，在票價提高之際，其旅客越不容易隨之產生變化，由航空轉而選擇非航空。

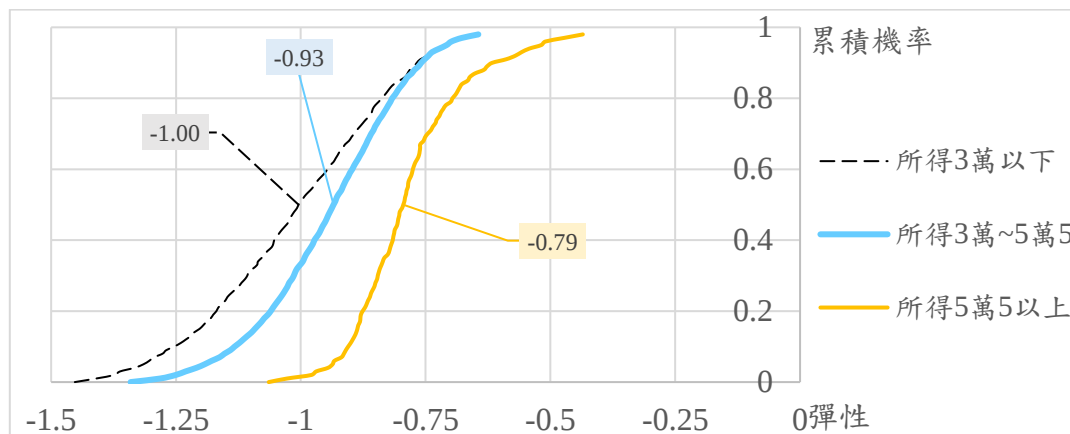


圖 5.5 依所得分組之票價彈性機率累積圖

除了票價彈性以外，為進一步探討本研究用於捕捉目的地觀光和商業屬性，所設計之變數—觀光就業比例和三級產業就業比例對需求量之影響，將計算此二變數之彈性。首先，檢視目的地觀光就業比例對於需求量的影響，將同樣分成兩種假設進行彈性計算，其一，計算當某一迄點都會區，其觀光產業就業人數佔三級產業就業人數比例提升百分之一，其餘迄點都會區比例不變時，該迄點都會區起的觀光產業就業人數佔三級產業就業人數比例彈性(都會區起迄對觀光就業比例彈性)，中位數為 1.04；其二，計算當同一都會區出發之所有迄點都會區，其觀光就業比例皆提升百分之一，該起點都會區的觀光就業比例彈性(起點都會區觀光就業比例彈性)，中位數為 0.55，計算結果可參照圖 5.6。

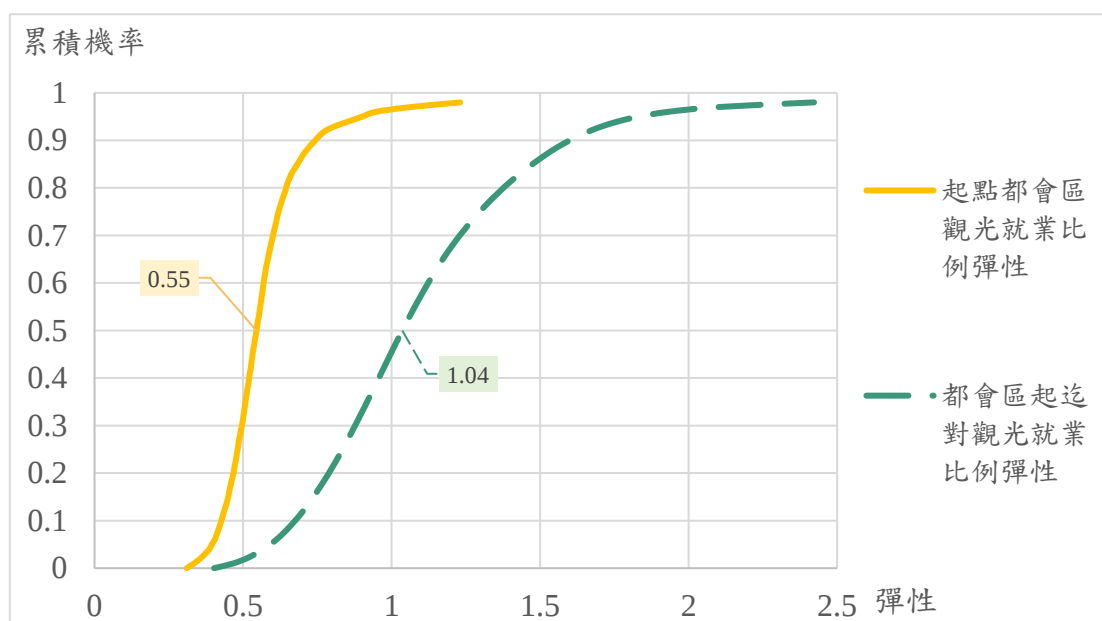


圖 5.6 觀光就業比例彈性機率累積圖

接著，檢視目的地三級產業就業比例對於需求量的影響，同樣分成兩種假設進行彈性計算，其一，計算當某一迄點都會區，其三級產業就業比例提升百分之一，其餘迄點都會區三級產業就業比例不變時，該迄點都會區起的三級產業就業比例彈性(都會區起迄對三級產業就業比例彈性)，中位數為 1.23；其二，計算當同一起點都會區出發之所有迄點都會區，其三級產業就業比例皆提升百分之一，該起點都會區的三級產業就業比例彈性(起點都會區起迄對三級產業就業比例彈性)，中位數為 0.51，計算結果可參照圖 5.7。

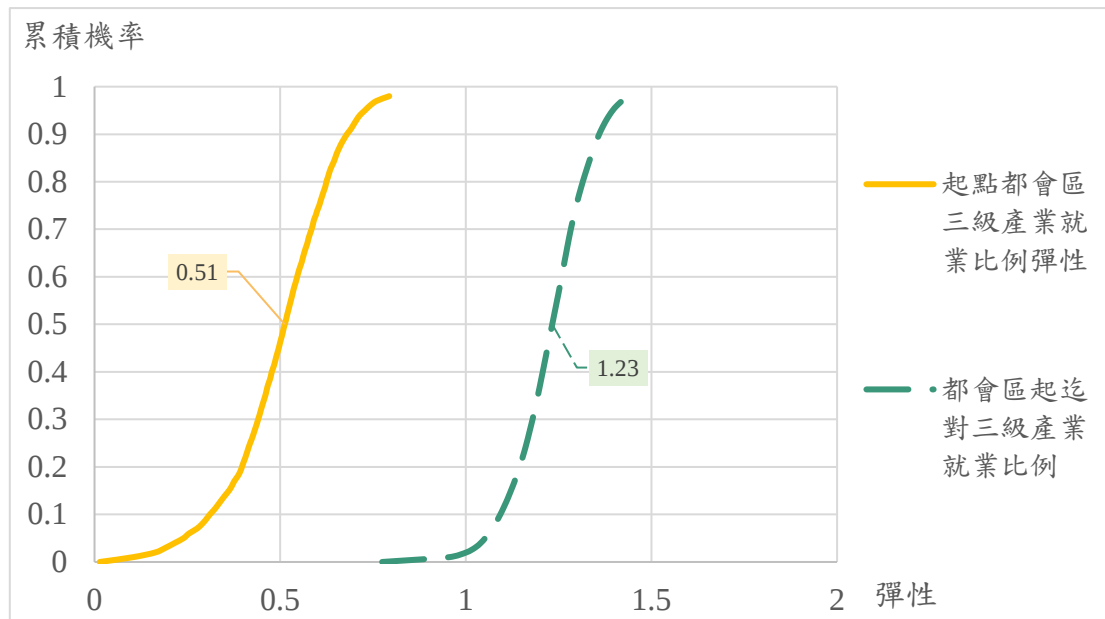


圖 5.7 三級產業就業比例彈性機率累積圖

最後，衡量所得對於需求量的影響，計算當起點都會區其所得提升百分之一時，該起點都會區的人均所得彈性(起點都會區所得彈性)，中位數為 0.92，計算結果可參照圖 5.8。

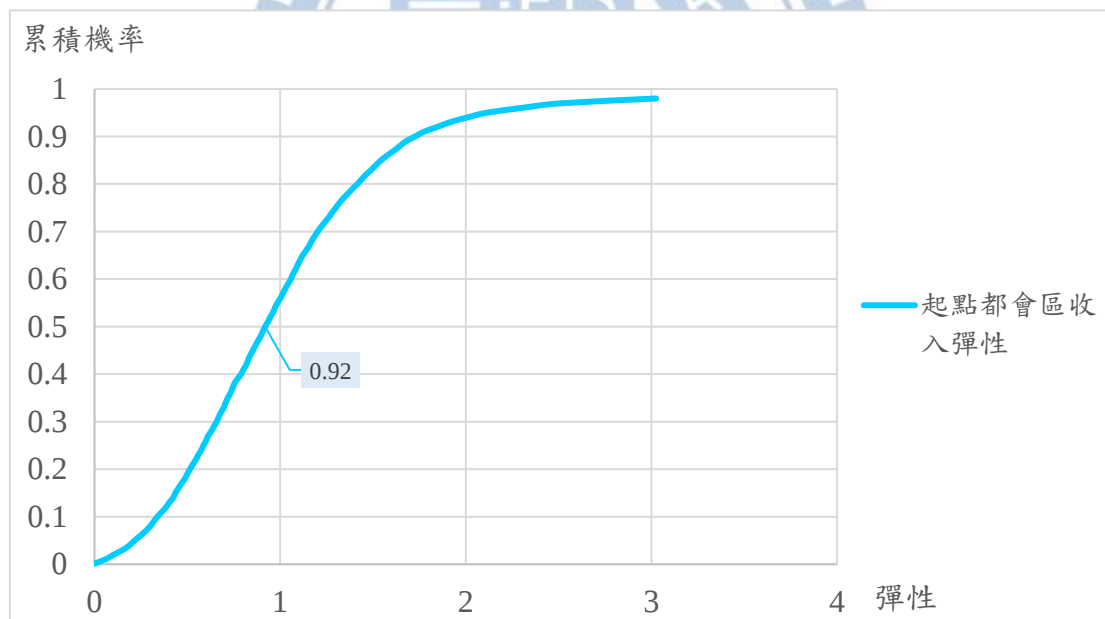


圖 5.8 所得彈性機率累積圖

5.1.3 小結

本研究分別呈現了未考慮方案競爭程度且未採用工具變數的多項羅吉特模式(MNL(OLS))、未考慮方案競爭程度但採用工具變數的多項羅吉特模式(MNL(IV))、考量替選方案間相關性但未採用工具變數的巢式羅吉特模式(NL5(OLS))，以及考量替選方案間相關性且採用工具變數的巢式羅吉特模式(NL5(IV)) 4 種模式。

由前述分析可知，在替選方案相關性方面，根據本研究建構之巢式架構可看出，旅次首先最容易改變其於航線之選擇行為，緊接為航空公司選擇行為，再來為起迄機場選擇行為，接著為目的地選擇行為，且不同屬性之目的地，會具有不同的替代性，最後方為由航空方案跳出，改為選擇非航空方案(包含不旅行與非航空)，而不同的起點都會區屬性，亦會使兩方案間的替代性不同。

在校估結果方面，考量了替選方案間相關性且採用工具變數的巢式羅吉特模式，可獲得較為合理之係數，每個變數的校估結果皆顯著，且與預期相符，此外，由前述計算之票價彈性可進一步得知，過去將分析單位定義在都會區起迄對的文獻所得之票價彈性，多會落於本研究之 NL5(IV)模式所得出的都會區起迄對(city-pair)和起點都會區票價彈性之間，顯見本研究建構之 NL5(IV)模式係數合理，且若未於模式中考量目的地替代性，則可能低估了旅運者對於價格的敏感程度，並提供了目的地之觀光及商業屬性變數的彈性，可供航空公司在面臨都會區屬性改變，欲調整經營之航線時，作為參考依據。

5.2 模式應用

本研究利用所校估之模式進行情境模擬，探討當航空公司針對特定目的地的航線進行策略調整(包含票價、班次之調整)，對目的地、機場(包含起迄機場和轉機機場)、航空公司及航線的需求量指派產生之影響，量化不同航空公司的旅客在目的地和航線的選擇行為，以供各家航空公司擬定策略參考，然而，由於 DB1B 為 10% 之抽樣資料，為求得較貼近實際之運量，應將本研究後續計算得出之需求量再放大 10 倍。

後續情境模擬選定美國載客量和機隊規模最大之美國航空(AA)作為探討對象，探討當航空公司之策略調整發生於競爭程度相異之目的地(由多家航空公司競爭或少數航空公司獨佔)時，比較美國整體航空市場需求變動以及各家航空公司策略效果的差異。情境模擬將依假設之不同，分為兩個 Case 進行分析比較，分別選定 Case1 休士頓和 Case2 費城兩迄點都會區進行策略調整，前者由多家航空公司競爭，後者由美國航空相對獨佔，其中每個 Case 又分為僅美國航空調整策略，以及所有航空公司皆調整策略兩種情形，將所有情境假設彙整於表 5.3。

表 5.3 情境假設

Case	調整之迄點都會區	調整之航空公司	策略
1-1	休士頓	美國航空(AA)	● 票價促銷：原票價打八折 ● 班次增班：原班次增班百分之一
1-2		所有航空公司	
2-1	費城	美國航空(AA)	
2-2		所有航空公司	

後續分析將會分別從「整體航空市場」以及「航空公司」的角度來分析模擬結果，前者用以探討當現實生活中，航空公司針對特定目的地的航線進行票價及班次調整，對於整體航空市場產生之影響，包含總體需求量之改變，以及目的地、起迄機場、航空公司及航線分配情形之變化；後者進一步從航空公司之角度出發，擬找出不同航空公司之優勢市場(此處之優勢市場，指的是進行策略調整時，可帶來較大效益之市場，包含與其他公司比較之優勢市場，以及自家公司經營中之相對優勢市場)，以提供航空公司進行策略調整時參考。

整體航空市場

模擬結果如表 5.4、5.5 所示(Case 1 對照表 5.4；Case 2 對照表 5.5)。在 Case 1 中，看出無論是單一航空公司(如：美國航空(AA))，或所有航空公司皆進行上述策略調整，休士頓的需求量會增加，而新增需求量的來源包含了(1)衍生需求和(2)改變目的地的旅次，且可以看出改變目的地的旅次，佔了新增需求量的 85%以上，顯見於模式中考量旅運者目的地選擇之重要性。Case 1-1 休士頓每年總計會多吸引 10,925 人(約增加 1.47%之需求量)，其中 1,555 人為衍生需求，9,370 人為由其他迄點都會區，改變目的地轉而前往休士頓；Case 1-2 休士頓每年總計會多吸引 143,035 人(約增加 19.25%之需求量)，其中 17,087 人為衍生需求，125,948 人為由其他迄點都會區，改變目的地轉而前往休士頓。

休士頓都會區總共包含兩座機場—喬治·布希洲際機場(IAH)和威廉·佩特斯·霍比機場(HOU)，在 Case 1-1 中，可以看出 IAH 分配到了大多數新吸引來的需求量，原因為美國航空在休士頓的主要營運重心為 IAH 機場。此外，由表 5.4 可以看出 Case 1-1 中當僅有美國航空進行策略調整，則美國航空經營之飛往休士頓的航線，總計會吸引 3,940 人，由於現實中不太可能出現僅一家航空公司進行策略調整的情況，普遍來說，其他家航空公司應會跟著推出回應的策略，因此進一步觀察 Case 1-2，當所有航空公司進行策略調整，美國航空經營之飛往休士頓的航線，吸引到的旅客竟不減反增至 5,406 人，可以看出當同一個都會區多家航空公司同時做出策略調整時，可能會有放大的效果，主要原因是業者們合力「把餅做大」，吸引許多旅運者改變其旅遊目的地(佔多數)或吸引到原本未出遊之旅運者。

在 Case 2 中(表 5.5) 可看出當策略調整發生於費城時，量化之旅運量變動結果，雖與發生於休士頓時不盡相同，但對整體航空市場帶來之影響雷同，其中改變目的地的旅次，亦同樣佔了新增需求量的 85%以上；此外，當所有航空公司進行策略調整，相較於僅美國航空做出策略調整，該公司吸引到的旅客由 35,367 人增至 40,491 人，可以看出當同一都會區多家航空公司同時做出策略調整時，同樣產生「把餅做大」之效果，吸引許多旅運者改變其旅遊目的地(佔多數)或吸引到原本未出遊之旅運者；然而，由於美國航空是費城之最主要之寡占航空公司，故其一家策略調整與所有公司一同調整之差異並不太大。

比較 Case 1(市場競爭程度高)和 Case 2(美國航空為高度寡占航空公司)後發現：就整體都會區需求量改變比例而言，由高至低分別為 Case 1-2(高競爭、全

調整)、Case 2-2(高寡占、全調整)、Case 2-1(高寡占、單調整)與 Case 1-1(高競爭、單調整)，顯示出在此二市場中競爭程度對需求量之影響較大、航空公司單獨調整策略在高寡占市場較易有較高之需求量改變。應用本模式亦可得知個別都會區受到航空公司策略調整之影響大小，觀察衍生需求增加前十大的都會區，在 Case 1-1 和 Case 1-2 中不盡相同，在 Case 2-1 和 Case 2-2 卻較為重疊，主要原因為當不同航空公司進行策略調整時，每個都會區受影響的程度亦會因此不同；然而，當策略調整發生於市場較為寡占的目的地時，高度寡占市場之航空公司主要經營的起點都會區，相對較容易產生較多衍生需求量產生。

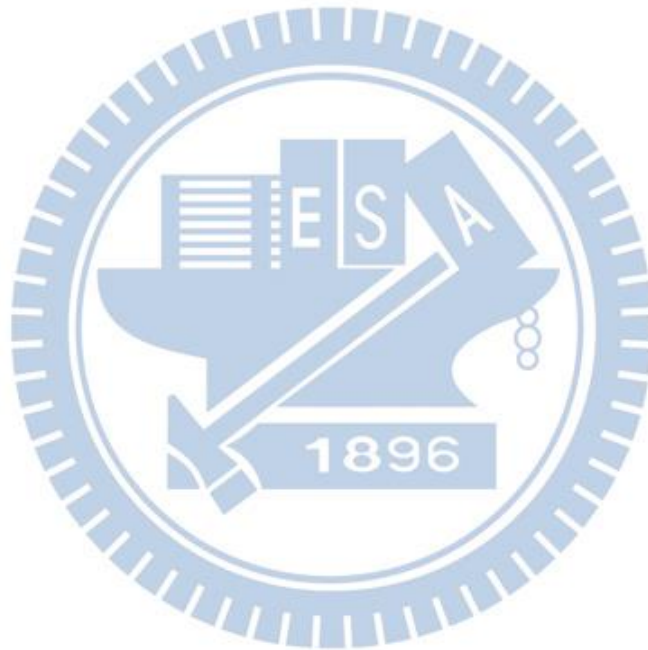


表 5.4 依整體航空市場視角解析模擬結果_Case1(休士頓)

	Case 1-1			Case 1-2		
需求類別	子類別	變動量	變動百分比	子類別	變動量	變動百分比
都會區	休士頓	10,925	1.47%	休士頓	143,035	19.25%
機場	IAH	8,154	1.87%	IAH	101,575	23.29%
	HOU	2,771	0.90%	HOU	41,460	13.50%
航空公司	AA	3,940	8.30%	AA	5,460	11.39%
	其他	6,985	1.19%	其他	137,575	20.42%
衍生需求	總計	1,555	0.21%	總計	17,087	2.30%
需求增加前 十大城市	夏洛特	310	0.08%	洛杉磯	2,674	0.11%
	鳳凰城	187	0.02%	拉斯維加斯	1,162	0.09%
	達拉斯	148	0.01%	鳳凰城	1,098	0.12%
	洛杉磯	86	0.00%	伯明罕	808	1.37%
	新奧爾良	68	0.02%	哥倫布	682	0.06%
	伯明罕	49	0.08%	諾克斯維爾	680	4.10%
	聖安東尼奧	44	0.02%	芝加哥	676	0.04%
	塔爾薩	43	0.07%	亞特蘭大	578	0.05%
	拉斯維加斯	41	0.00%	厄爾巴索	533	0.86%
	哥倫布	36	0.00%	塔爾薩	493	0.81%
	十大小計	1,012	0.03%	十大小計	9,384	0.76%
改變目的地	總計	9,370	1.26%	總計	125,948	16.95%
需求減少前 十大城市	紐約	1,836	0.08%	紐約	18,465	0.77%
	達拉斯	954	0.07%	舊金山	15,900	0.83%
	亞特蘭大	877	0.07%	亞特蘭大	12,125	0.96%
	洛杉磯	797	0.03%	達拉斯	11,358	0.89%
	芝加哥	751	0.04%	芝加哥	10,999	0.62%
	舊金山	658	0.03%	拉斯維加斯	10,354	0.83%
	拉斯維加斯	575	0.05%	邁阿密	8,813	0.60%
	邁阿密	476	0.03%	洛杉磯	8,483	0.35%
	華盛頓	446	0.03%	哥倫布	6,921	0.56%
	哥倫布	396	0.03%	波士頓	4,723	0.44%
	十大小計	7,766	0.05%	十大小計	108,141	0.69%

註：運量預測為 10%之樣本數據、年運量之結果。

表 5.5 依整體航空市場視角解析模擬結果_Case2(費城)

	Case 2-1			Case 2-2		
需求類別	子類別	變動量	變動百分比	子類別	變動量	變動百分比
都會區	費城	38,785	6.57%	費城	60,683	10.28%
機場	PHL	38,785	6.57%	PHL	60,683	10.28%
航空公司	AA	35,367	11.08%	AA	40,491	12.69%
	其他	3,418	1.26%	其他	20,192	7.44%
衍生需求	總計	5,758	0.98%	總計	8,638	1.46%
需求增加前 十大城市	鳳凰城	1,754	0.19%	鳳凰城	2,016	0.21%
	達拉斯	1,076	0.08%	達拉斯	1,217	0.10%
	哥倫布	580	0.05%	哥倫布	1,077	0.09%
	拉斯維加斯	360	0.03%	亞特蘭大	740	0.06%
	坦帕	347	0.06%	坦帕	545	0.09%
	洛杉磯	218	0.00%	拉斯維加斯	526	0.04%
	亞特蘭大	213	0.02%	芝加哥	358	0.02%
	邁阿密	194	0.01%	洛杉磯	282	0.01%
	夏洛特	174	0.05%	邁阿密	268	0.02%
	芝加哥	161	0.01%	明尼亞克波里斯	261	0.04%
	十大小計	5,078	0.04%	十大小計	7,291	0.07%
改變目的地	總計	33,027	5.59%	總計	52,045	8.81%
需求減少前 十大城市	紐約	7,517	0.31%	紐約	13,060	0.55%
	洛杉磯	4,598	0.19%	洛杉磯	6,618	0.27%
	芝加哥	2,684	0.15%	芝加哥	4,297	0.24%
	舊金山	2,464	0.13%	華盛頓	3,617	0.25%
	拉斯維加斯	2,246	0.18%	舊金山	3,420	0.18%
	華盛頓	2,185	0.15%	拉斯維加斯	3,268	0.26%
	亞特蘭大	2,001	0.16%	亞特蘭大	3,107	0.24%
	達拉斯	1,447	0.11%	達拉斯	2,291	0.18%
	丹佛	855	0.07%	邁阿密	1,351	0.09%
	邁阿密	792	0.05%	哥倫布	1,349	0.11%
	十大小計	26,788	0.15%	十大小計	42,378	0.24%

註：運量預測為 10%之樣本數據、年運量之結果。

航空公司

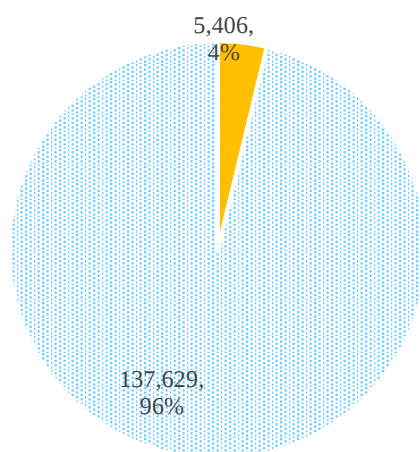
從航空公司的角度來檢視策略模擬結果(如表 5.6)，所有前往休士頓的旅運量中，美國航空(AA)市佔率較小(6.39%)，而在所有前往費城的旅運量中，美國航空(AA)市佔率較大(54.05%)。由圖 5.9 可以看出，當所有航空公司同時做出了相同的策略調整，美國航空在調整前往費城的策略中，可吸引相對更多的旅客(佔了費城新吸引的需求量中的 67%)。此外，以起點都會區為分析市場時，當航空公司進行策略調整時，雖於策略調整之目的地會吸引更多的旅客，但卻可能會流失小部分其他與之競爭之目的地的旅客。觀察表 5.6 後會發現，以美國航空為例，在 Case 1-2 中，雖於休士頓吸引了 5,406 人；卻會於其他目的地流失旅客多達 23,421 人，故美國航空針對休士頓(美國航空市佔率較小之目的地)進行策略調整時，對其自身可能反而有負面影響(如果其他航空公司全面反擊)；在 Case 2-2 中，美國航空針對費城(美國航空市佔率較大之目的地)進行策略調整，預計於費城多吸引 40,491 人，於其他目的地則流失 15,092 人。是故，若航空公司想進行策略調整，選擇自己市佔率較大之目的地進行調整可能相對有利。

進一步比較分析不同起點都會區前往休士頓(Case 1-2)或費城(Case 2-2)，經策略調整帶來之需求量變動，其中選定兩個起點都會區為代表，亞特蘭大為美國航空市佔率較小的都會區，夏洛特則為美國航空市佔率較大的都會區。由表 5.6 可知，美國航空經策略調整後，在亞特蘭大市場可於費城吸引 1,360 人，於其他目的地則會流失 137 人；在夏洛特市場於費城吸引 1,129 人，於其他目的地卻會流失 884 人。為更清楚展示亞特蘭大和夏洛特此二市場的差異，將此二市場前往費城新增之需求量的來源整理成圖 5.10，可清楚看出，由亞特蘭大出發，前往其他目的地流失之旅客，僅有 3%屬於美國航空，於夏洛特卻佔了 75%。是故，若航空公司欲進行策略調整，應選擇自本身市佔率較高之目的地、但市佔率較低之起點都會區進行調整，如此可能獲得較大的效益。更重要的是，若沒有在模式中考慮目的地之替代性，則可能輕易忽略其他目的地可能流失旅運量，而使得策略評估之結果失真、做出錯誤之決策。

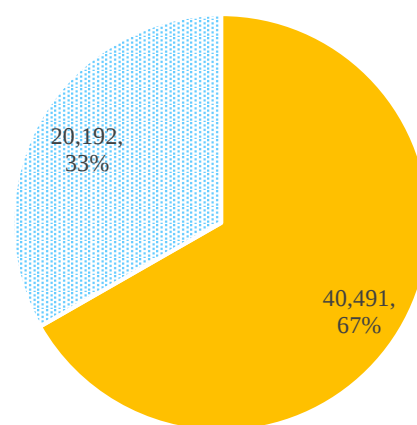
表 5.6 依航空公司視角解析模擬結果

Case	分析市場 (起點都會區)	不分航空公司		美國航空(AA)		其他航空公司	
		變動需求量 (變動百分比)		變動需求量 (變動百分比)		變動需求量 (變動百分比)	
		增加之需求 (前往變動迄點)	減少之需求 (改變目的地)	增加之需求 (前往變動迄點)	減少之需求 (改變目的地)	增加之需求 (前往變動迄點)	減少之需求 (改變目的地)
1-2 調整 休士頓	所有	+143,035 (19.25%)	-125,948 (0.39%)	+5,406 (11.39%)	-23,421 (0.41%)	+137,629 (19.78%)	-102,527 (0.40%)
	亞特蘭大	+3,606 (11.10%)	-3,029 (0.25%)	+15 (9.30%)	-120 (0.12%)	+3,591 (11.18%)	-2,909 (0.26%)
	夏洛特	+2,225 (28.65%)	-1,878 (0.50%)	+2,023 (36.35%)	-1,674 (0.58%)	+202 (9.18%)	-204 (0.23%)
2-2 調整 費城	所有	+60,683 (10.28%)	-52,045 (0.17%)	+40,491 (12.69%)	-15,092 (0.29%)	+20,192 (7.44%)	-36,953 (0.14%)
	亞特蘭大	+4,587 (10.97%)	-3,846 (0.32%)	+1,360 (9.57%)	-137 (0.17%)	+3,227 (11.68%)	-3,710 (0.33%)
	夏洛特	+1,177 (8.25%)	-993 (0.28%)	+1,129 (11.09%)	-884 (0.31%)	+48 (1.17%)	-110 (0.13%)

美國航空佔休士頓新增需求量比



美國航空佔費城新增需求量比

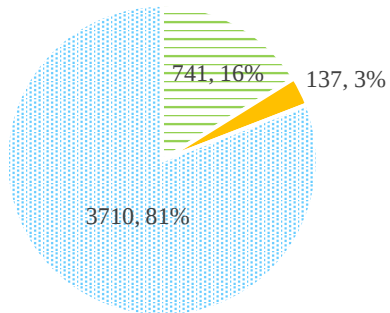


■ 美國航空 ■ 其他航空公司

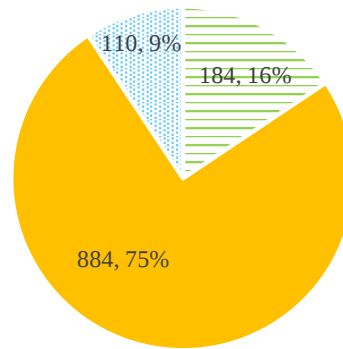
■ 美國航空 ■ 其他航空公司

圖 5.9 美國航空佔休士頓與費城新增需求量比例比較圖

亞特蘭大往費城新增需求量之來源



夏洛特往費城新增需求量之來源



— 衍生需求

■ 改變目的地(美國航空之旅客)

※ 改變目的地(其他航空公司之旅客)

— 衍生需求

■ 改變目的地(美國航空之旅客)

※ 改變目的地(其他航空公司之旅客)

圖 5.10 亞特蘭大與夏洛特往費城新增需求量來源比較圖



第六章 結論與建議

6.1 結論

為了建構考量目的地替代性，且保留旅客航線、航空公司選擇行為之模式，並盡可能地將空運需求相關影響因素納入考量，本研究利用總計巢式羅吉特模式，建構出以起點都會區為分析市場之「目的地、航線與航空公司選擇模式」，此模式可將起點都會區、迄點都會區層級之地緣社經因素，以及航線—航空公司層級的服務水準因素納入模式；巢式架構則可以處理方案間之替代性(相關性)高低不同之問題(如：考慮目的地替代性、航空公司替代性，以及多機場都會區之機場替代性、競爭性)；將非航空方案納入模式則可以使航空總需求量保有彈性。

為了評比較合理之模式，本研究根據校估係數及其隱含意義，檢視包容值係數、都會區起迄對和起點都會區之票價需求彈性與時間價值。從考量了目的地替代性的五層巢式架構可以發現，對旅運者而言，同航空公司之不同直飛或轉機航線相互替代性最高，航空公司間之替代性次之，起迄點機場替代性則較低，航空與非航空方案的替代性則最低。針對模式中票價內生性的問題，本研究採用工具變數(航線距離、航線距離乘以單位油價)與兩階段最小平方法來處理，經處理後之模式校估係數所隱含的時間價值與票價彈性變得更加合理。此外，過去將分析單位定義在都會區起迄對的相關文獻，票價彈性多會落於本研究建議之 NL5(IV)模式所得出的都會區起迄對和起點都會區票價彈性之間，顯見本研究建構之模式係數合理，且若未於模式中考量目的地之替代性，則可能低估了旅運者對於價格的敏感程度。

在模式解釋變數方面，服務水準因素中票價與旅行時間對於方案市佔率之影響效果為負，頻率與航線類型對於方案市佔率為正；在地緣社經因素中，都會區起迄對距離、迄點都會區人口、觀光就業比例和三級產業就業比例，以及起點都會區之人均所得和三級產業就業比例對於方案市佔率為正。其中，頻率可以分為直飛航班的頻率、一次轉機航班的兩個航段中較高的頻率、較低的頻率，在後二者中，航班中較低的頻率為影響較大之關鍵頻率。都會區起迄對距離方面，距離之影響會呈先遞增後遞減的效

果，原因是因為當距離越長的時候，航空方案吸引力越大，但當距離過長，目的地吸引力就會降低(尤其是目的地的觀光吸引力)。越以觀光休閒為主要吸引力的目的地，越容易用其他目的地替代；所得越高的起點都會區，航空方案越不容易被非航空方案替代。

本研究亦應用建議模式模擬航空公司針對特定目的地之航線進行策略調整，從整體航空市場解析模擬結果可知，目的地新增需求量的來源包含了衍生需求和改變目的地的旅次，且改變目的地的旅次佔了其中之大多數；當多家航空公司同時進行策略調整，可能會放大策略之效果。從航空公司視角解析模擬結果發現，航空公司可選擇自己市佔率較大的目的地(可吸引較多旅客)、但市佔率較小的起點都會區進行策略調整(較不易流失自身公司於其他目的地的旅客)，如此可能得到較大之運量。更重要的是，若未於模式中考慮旅客的目的地、航空公司選擇行為，可能誤判策略之運量效果，做出錯誤之決策。



6.2 建議

本研究利用總體資料建立的「結合目的地、航線與航空公司之選擇模式」可應用之層面相當廣泛，例如可用以探討與旅客目的地選擇行為相關的議題，包含航空公司針對特定目的地的航線進行策略調整、目的地屬性改變、迄點都會區因外力因素而無法提供空運服務之衝擊評估，以及航空公司欲拓展據點、新設航線時，對目的地的需求量指派產生之影響；當然，與航線、航空公司相關之議題(例如：航線選擇、航空公司合併與競爭)亦是其應用之範圍。

此外，本研究選用美國國內航空資料建構模式，建議後續研究可嘗試蒐集、納入其他運具之資料，以使運具選擇之方案更為完整。



參考文獻

- 蕭傑諭、陳蒼予(2019)，航線與航空公司選擇模式—航空公司合併對旅運者福利之影響分析，中華民國運輸學會 2019 年年會暨學術論文國際研討會
- Abrahams, M. (1983). Service quality model of air travel demand: An empirical study. *Transportation Research*, 17(5), 385–393.
- Adler, N., (2001). Competition in a deregulated air transportation market. *European Journal of Operational Research* 129 (2), 337–345.
- Adler, N., (2005). Hub-spoke network choice under competition with an application to western Europe. *Transportation Science* 39 (1), 58–72.
- Anderson, J.E., Kraus, M., 1981. Quality of service and the demand for air travel. *Review of Economics and Statistics* 63 (4), 533–540.
- Bhadra, D., (2003). Demand for air travel in the United States: bottom-up econometric estimation and implications for forecasts by origin and destination pairs. *Journal of Air Transportation* 8 (2), 19–56.
- Bafail, A. O., Abed, S. Y., Jasimuddin, S. M., & Jeddah, S. A. (2000). The determinants of domestic air travel demand in the Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of Air Transportation World Wide*, 5(2), 72–86.
- Bhadra, D. (2003). Demand for air travel in the United States: Bottom-up econometric estimation and implications for forecasts by origin and destination pairs. *Journal of Air Transportation*, 8(2), 19–56.
- Bieger, T., Wittmer, A., & Laesser, C. (2007). What is driving the continued growth in demand for air travel? Customer value of air transport. *Journal of Air Transport Management*, 13(1), 31–36.
- Birolinia, S., Mattia Cattaneo Paolo Malighetti, & Morlotti, C. (2019). Integrated origin-based demand modeling for air transportation. *Conference of Air Transport Research Society*.
- Borenstein, S. (1989). “Hubs and High Fares: Dominance and Market Power in the U.S. Airline Industry.” *The RAND Journal of Economics*, 20(3): 344-365
- Brooke, A. S., Caves, R. E., & Pitfield, D. E. (1994). Methodology for predicting European short-haul air transport demand from regional airports: An application to

- East Midlands International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 1(1), 37–46.
- Brueckner, J.K., 1998. Testing for strategic interaction among local governments: the case of growth controls. *J. Urban Econ.* 44, 438-467.
- Castelli, L., Pesenti, R., & Ukovich, W. (2003). An airline-based multilevel analysis of airfare elasticity for passenger demand. Manuscript.
- Coldren, G.M., Koppelman, F.S., Kasturirangan, K., & Mukherjee, A., (2003). Modeling aggregate air travel itinerary shares: logit model development at a major US airline. *Journal of Air Transport Management* 9 (6), 361–369.
- Coldren, G.M., Koppelman, F.S., (2005). Modeling the competition among air-travel itinerary shares: GEV model development. *Transportation Research Part A* 39 (4), 345–365.
- Crouch, G. I. (1994). Demand elasticities for short-haul versus longhaul tourism. *Journal of Travel Research*, 33(2), 2-7
- Grosche, T., Rothlauf, F., & Heinzl, A., 2007. Gravity models for airline passenger volume estimation. *J. Air Transp. Manag.* 13, 175-183
- Hansen, M., (1995). Positive feedback model of multiple-airport system. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 121 (6), 453–460.
- Harvey, G., (1987). Airport choice in a multiple airport region. *Transportation Research Part A* 21 (6), 439–449.
- Hsiao, C. Y., & Hansen, M. (2011). A passenger demand model for air transportation in a hub-and-spoke network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1112-1125
- Jorge-Calderón, J. D. (1997). A demand model for scheduled airline services on international European routes. *Journal of Air Transport Management*, 3(1), 23–35.
- Kanafani, A., & Fan, S.L., (1974). Estimating the demand for short-haul air transport system. *Transportation Research Record* 526, 1–15.
- Moeckel, R., Fussell, R., & Donnelly, R., 2013. Mode choice modeling for long-distance travel. *Transport. Res. Board*, 1–16
- Njegovan, N. (2005). A leading indicator approach to predicting short-term shifts in demand for business travel by air to and from the UK. *Journal of Forecasting*,

24(6), 421–432.

Njegovan, N. (2006). Elasticities of demand for leisure air travel: A system modelling approach. *Journal of Air Transport Management*, 12(1), 33–39.

Papatheodorou, A. (2001). Why people travel to different places. *Annals of Tourism Research*, 28, 164–179.

Pels, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P., (2001). Airport and airline choice in a multiple airport region: an empirical analysis for the San Francisco Bay Area. *Regional Studies* 35 (1), 1–9.

Pels, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P., (2003). Access to and competition between airports: a case study for the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Part A* 37 (1), 71–83.

Plog, S. C. (1973) Why Destination Areas Rise and Fall in Popularity. *Cornell Hotel, Restaurant and Administration Quarterly* 14:13±16.

Rengaraju, V. R., & Arasan, V. T. (1992). Modeling for air travel demand. *Journal of Transportation Engineering*, 118, 371.

Rugg, D. (1973) The Choice of Journey Destination: A Theoretical and Empirical Analysis. *Review of Economics and Statistics* 55:64±72.

Seddighi H.R. (2002) A model of tourism destination choice: a theoretical and empirical analysis.

Tretheway, M. W., & Oum, T. H. (1992). *Airline economics: foundations for strategy and policy*. Canada: Centre for Transportation Studies, University of British Columbia.

Wang, M., & Song, H. (2010). Air Travel Demand Studies: A Review. *Journal of China Tourism Research*, 6(1), 29-49.

Wei, W., & Hansen, M., (2006). An aggregate demand model for air passenger traffic in the hub-and-spoke network. *Transportation Research Part A* 40 (10), 841–851.

Weidner, T., (1996). Hubbing in US air transportation system: economic approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1562, 28–37.

Windle, R., & Dresner, M., (1995). Airport choice in multiple-airport regions. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 121 (4), 332–337.