

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

航空公司航班取消與機場航班延誤
之均衡模式

An Equilibrium Model for Airline Flight Cancellations
and Airport Flight Delays

研究生：邱郁蘋

指導教授：蕭傑諭

中華民國一〇八年八月

航空公司航班取消與機場航班延誤之均衡模式

An Equilibrium Model for Airline Flight Cancellations
and Airport Flight Delays

研 究 生：邱郁蘋

Student：Yu-Ping Chiu

指導教授：蕭傑諭

Advisor：Chieh-Yu Hsiao



August 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇八年八月

航空公司航班取消與機場航班延誤之均衡模式

學生：邱郁蘋

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

本研究以機場營運之角度探討航班延誤與航班取消之互相影響與均衡，透過具有競爭性之機場進行實證研究，並透過情境模擬不同競爭程度下之均衡差異。模式之主要概念架構如下：個別航空公司基於機場整體延誤情況而決定航班取消數，而機場延誤則受到所有航空公司之總班次數所影響。本研究考量延誤與交通量、競爭性、航線營運特性、天氣、機場等因素，應用異質性普羅比模式建立個體航班取消模型、以廣義自我迴歸條件異質變異模式建立機場航班延誤模式，求取均衡之航空公司取消率與航班延誤。由校估結果指出，(1) 排隊延誤、表定流量以及天氣是影響起飛或抵達延誤的重要因素；(2)延誤與前 1 和前 2 小時相關，排隊延誤與表定起降航班量具有異質性變異數；(3)排隊延誤對抵達延誤影響較為嚴重，且邊際效果遞增；(4)排隊延誤、起飛延誤、抵達延誤確實使起飛航班取消機率增加；(5)在取消與否的決策上，不同航空公司對排隊延誤的敏感度有差異性；(6)隨著競爭程度下降(趨向獨佔機場)，排隊延誤對於取消率的影響會增加。本研究建構的均衡模式(結合延誤模式與取消模式)為一個可互動且預測誤差在接受範圍內之模式，並運用此模式進行情境模擬發現，與現況預估(3.8 家有效競爭航空公司)相比，當機場為獨佔市場時，取消率上升 9.5 個百分點；取消率改變的比例為 111.76%；起飛延誤下降 2%，顯見競爭性對取消率與延誤之影響，以及越傾向獨占之機場，航空公司越可能透過取消航班以內化延誤成本。

關鍵詞：航班取消、航班延誤、均衡模式、廣義自我迴歸條件異質變異模式、異質性普羅比模式

An Equilibrium Model for Airline Flight Cancellations and Airport Flight Delays

Student: Yu-Ping Chiu

Advisor: Dr. Chieh Yu Hsiao

Department of Transportation and Logistics Management
National Chiao Tung University

Abstract

This study explores the interaction and equilibrium between flight delays and cancellations from the perspective of airport operations, conducting an empirical study by a competitive airport and simulating the different equilibrium under different levels of competition. The main conceptual framework is as follows: Individual airlines determine the number of canceled flight based on the overall delay of the airport, and the airport delay is affected by the total number of flights of all airlines. This study considers six factors, such as flight delays and traffic volume, competitiveness, route characteristics, weather, and the airport, applies the Heteroskedastic Probit Model to establish individual flight cancellation behaviors and uses GARCH Model to establish airport flight delay model, which obtains equilibrium of airline cancellation rates and flight delays. The results show that (1) queueing delay, volumes, and weather are important factors affecting both departure and arrival delay; (2) delay in hour t is related to the hour $t-1$ and the hour $t-2$, in addition, the queueing delay and the scheduled departure and arrival volume have heterogeneous variation; (3) queueing delay has more serious impact on arrival delay than on departure delay, and the marginal effect is increasing; (4) queueing delay, departure delay and arrival delay do increase the probability of flight cancellation; (5) different airlines have different sensitivity to queueing delays in cancellations; (6) as the market goes to more monopoly, the impact of queue delay on the cancellation rate increases significantly. Our equilibrium model which combines the delay model and the cancellation model truly could run and interact, and the prediction error is within the acceptance range that could be used to simulate the scenario. Compared with the current situation (3.8 workable competitors), when the airport becomes monopoly, the cancellation rate increases by 9.5 percentage points; the changed ratios of cancellation rate is 111.76%; the departure delay decreased by 2%. It is obvious that the importance of impact of competition on flight cancellation and delay. The more monopoly the airport is, the more likely the airline will internalize the cost of delay by canceling flights.

Keywords: Flight Cancellations, Flight Delays, Equilibrium Model, GARCH Model, Heteroskedastic Probit Model

誌謝

時光匆匆流逝，不知不覺已經到了碩論定稿寫誌謝之際，不知不覺已在這校園度過了六年的光陰，不知不覺人生要踏入另一個里程碑。回首過去兩年研究所學習與寫論文過程中，過程中曾經毫無頭緒、四處撞壁、原地踏步、重新開始的挫折與壓力，更難忘的是身旁老師、朋友與家人的幫助、關心與包容，方讓我一步步茁壯成長，突破難關，完成論文。

首先最先要感謝的還是指導教授蕭傑諭老師的指導，在我陷入一次次的迴圈時，老師總能及時給予一盞明燈，指引我往正確的方向；在我數次不能理解或碰到問題時，老師總是保有耐心，花許多時間一而再再而三的用不同方式為我解惑，同時也給予精神上鼓勵以及人生經驗的分享，讓我獲益良多。

再來要感謝從大學以來熟識的好友們以及 LAB 同學以及好室友—芸安、蒼予、喻婷、雅茹、品嘉、宛樺、冠儀、玟姍，在學業與論文上遇到瓶頸時，總能幫助我轉換不同思路與建議；遇到挫折與壓力時，帶給我歡樂與陪伴；在心情低落時，彼此傾訴互相打氣，讓我在論文的道路上，不感到孤單與無助。

常常向同學們自稱是爸寶媽寶的我，最後也最感謝我的家人，總在背後默默支持我，謝謝他們給予的精神鼓勵，關心我的身體與心靈健康，幾乎每週末回家休息充電讓我能以更好的心態迎接挑戰，體會到家這個避風港是我永遠的依靠。

謝謝一路上所有幫助過我的人們，你們給予的幫助就像每一塊拼圖，缺一不可，讓我順利拼完不可思議的論文與碩士生活，我會帶著種種美好回憶迎接下一趟旅程。

邱郁蘋 謹誌

2019 年 8 月 於新竹

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	研究流程	4
第二章	文獻回顧	6
2.1	航班延誤相關研究	6
2.2	影響航班取消決策因素	9
2.3	航空公司競爭	16
2.4	小結	17
第三章	研究方法與設計	18
3.1	系統分析架構	18
3.2	迴歸計量模型	20
3.3	間斷選擇模型	24
第四章	實證資料蒐集與初步分析	28
4.1	資料蒐集與計算	28
4.1.1	資料蒐集	28
4.1.2	資料篩選	29
4.1.3	資料計算	30
4.2	研究機場之選擇	32
4.2.1	篩選原則	32
4.2.2	篩選過程	32
4.3	整體資料分析	36
第五章	實證模式與均衡分析	40

5.1	基本統計	40
5.2	延誤模式校估結果	41
5.2.1	起飛延誤模式	41
5.2.2	抵達延誤模式	43
5.3	取消模式校估結果	45
5.3.1	校估結果與比較	45
5.3.2	取消模式邊際效果	48
5.4	延誤與取消均衡模式結果	53
5.4.1	均衡模式結果與驗證	53
5.4.2	政策情境模擬分析	56
第六章	結論與建議	62
6.1	結論	62
6.2	建議	63
參考文獻		65

圖目錄

圖 1.1 美國 2007 年至 2017 年航班起降架次與準點率	1
圖 1.2 美國 2007 年至 2017 年航班延誤率與取消率	2
圖 1.3 研究流程圖	5
圖 3.1 航班延誤與取消均衡概念圖	19
圖 3.2 機場航機排隊延誤圖表	23
圖 4.1 美國各機場內航空公司市佔率(航班數)	33
圖 4.2 美國各機場內航空公司市佔率比較	34
圖 4.3 芝加哥歐海爾國際機場各航空公司市佔率	36
圖 4.4 芝加哥歐海爾國際機場每月航班起降準點率	37
圖 4.5 芝加哥歐海爾國際機場各航空公司每月航班起降準點率	37
圖 4.6 芝加哥歐海爾國際機場平均每月起降延誤時間	38
圖 4.7 芝加哥歐海爾國際機場每月航班起降取消率	39
圖 5.1(a) 不同小時航班市佔率下起飛排隊延誤之邊際效果	51
圖 5.1(b) 不同航段 HHI 下起飛排隊延誤之邊際效果	51
圖 5.2(a) 不同起飛排隊延誤下小時航班市占率之邊際效果	52
圖 5.2(b) 不同起飛排隊延誤下航段 HHI 之邊際效果	52
圖 5.3 均衡模式流程圖	53
圖 5.4 起飛排隊延誤對取消率之影響	57
圖 5.5 起飛排隊延誤對起飛延誤之影響與其改變百分比	57
圖 5.6 趨向雙佔市場對機場整體取消率之影響	59
圖 5.7 趨向雙佔市場對機場起飛與抵達延誤之影響	59
圖 5.8 趨向獨佔市場對機場整體取消率之影響	60
圖 5.9 趨向獨佔市場對機場起飛與抵達延誤之影響	61

表目錄

表 2.1 航班延誤因素之相關研究.....	6
表 2.2 航班延誤影響之相關研究.....	8
表 2.3 航班取消之相關研究.....	13
表 2.4 探討航班取消之考量因素相關文獻整理.....	15
表 3.1 航班延誤變數預期正負號.....	23
表 3.2 航班取消變數預期正負號.....	27
表 4.1 本研究各項資料來源.....	29
表 4.2 美國前 30 大機場航空公司集中度(航班數).....	33
表 4.3 機場準點率、延誤與取消率.....	35
表 4.4 甘迺迪機場與歐海爾機場國內外航班營運比較.....	35
表 5.1 芝加哥歐海爾機場敘述性統計.....	40
表 5.2 起飛延誤模式校估結果.....	42
表 5.3 抵達延誤模式校估結果.....	44
表 5.4 起飛航班取消模式校估模式比較.....	46
表 5.6 起飛排隊延誤與航空公司交叉相乘項對取消的邊際效果.....	50
表 5.7 均衡模式驗證歷史參數.....	54
表 5.8 歷史資料與均衡模式比較表.....	55
表 5.9 歷史資料與均衡預測差距之分配表.....	55

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

談及航空業的服務品質，航班延誤與取消情形在現今社會屢見不鮮，延誤與取消是全球航空業所面臨的重要課題。美國運輸部 2018 年 8 月的航空旅行消費者報告書(Air Travel Consumer Report)中指出，美國國內共有 21.41 %航班延誤、1.71 %航班取消，如此可觀的數據顯示此議題之嚴重性，引起眾人對航班延誤與取消的關注。自 2007 年全球金融海嘯後美國國內航班起降量有下降趨勢(如圖 1.1)，但 2009 年後的準點率起伏不定，無明顯改善。Ball et.al. (2010)的研究指出，美國國內線航班延誤導致其國內 GDP、航空公司和旅客共 329 億美元的損失。整體來說，頻繁的航班延誤與取消與其嚴重之影響一直是航空界的隱憂，值得我們深入探討。

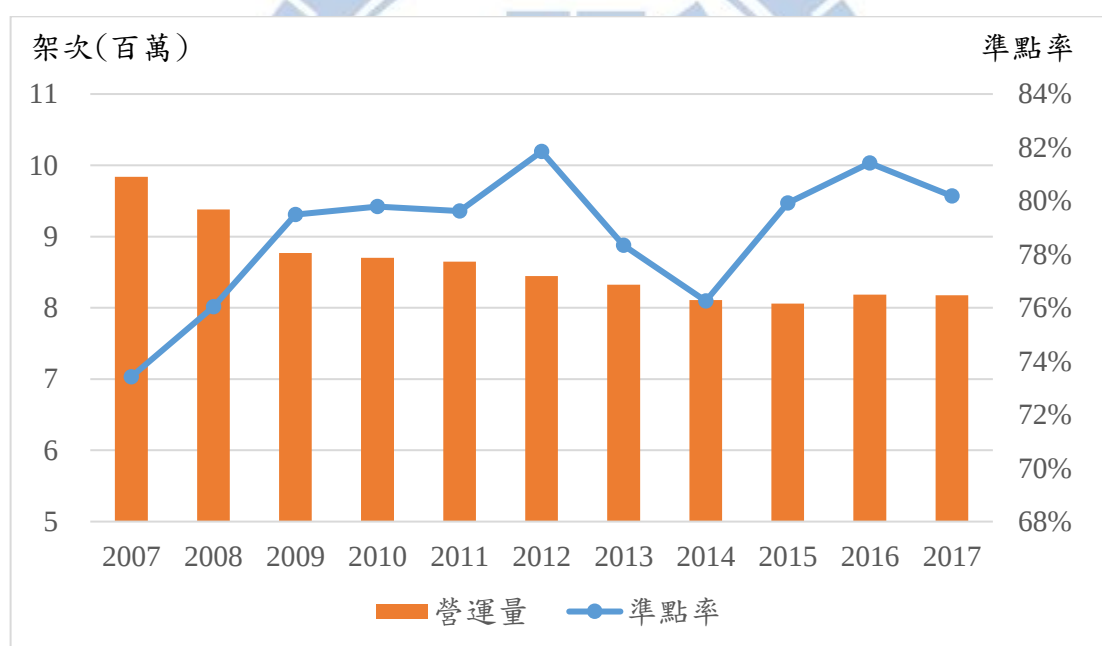


圖 1.1 美國 2007 年至 2017 年航班起降架次與準點率

資料來源：美國運輸統計局 (2018)

航班延誤與取消對於乘客與航空公司而言，通常都是不願意發生之事，航班延誤嚴重時可能導致航班取消，惟取消航班可能降低機場整體之延誤，故航班延誤與取消可能相互影響，以機場營運角度而言，航班取消可能是降低交通量壅塞的方式之一。當航班由於各種因素，無法按照表定時間起降，機場必須重新安排，進而影響到後續時間帶航班之運作，如排隊等候產生延誤等。當航班延誤十分嚴

重時，航空公司可能會取消特定航班，避免正常營運原定航班導致準點率下降，也可在機場容量減少期間使同一航空公司的其他航班延誤減少，由圖 1.2 可以看出航班延誤率與取消率趨勢相近，呈高度相關，航空公司航班取消之決定，可以成為交通量壅塞後減少嚴重延誤與潛在的經濟損失並結束非正常運營的方式之一。依據美國運輸統計局(Bureau of Transportation Statistics, BTS)的分類與數據，機場起降航班擁塞(25.28%)是除了極端天氣(53.16%)以外，航班延誤與取消最常見的原因之一。過去文獻較少探討航班取消對機場營運之影響，本研究欲了解航班延誤嚴重時，航空公司決策航班取消的考量因素與其相對重要性，以及取消航班後對機場整體延誤之影響。

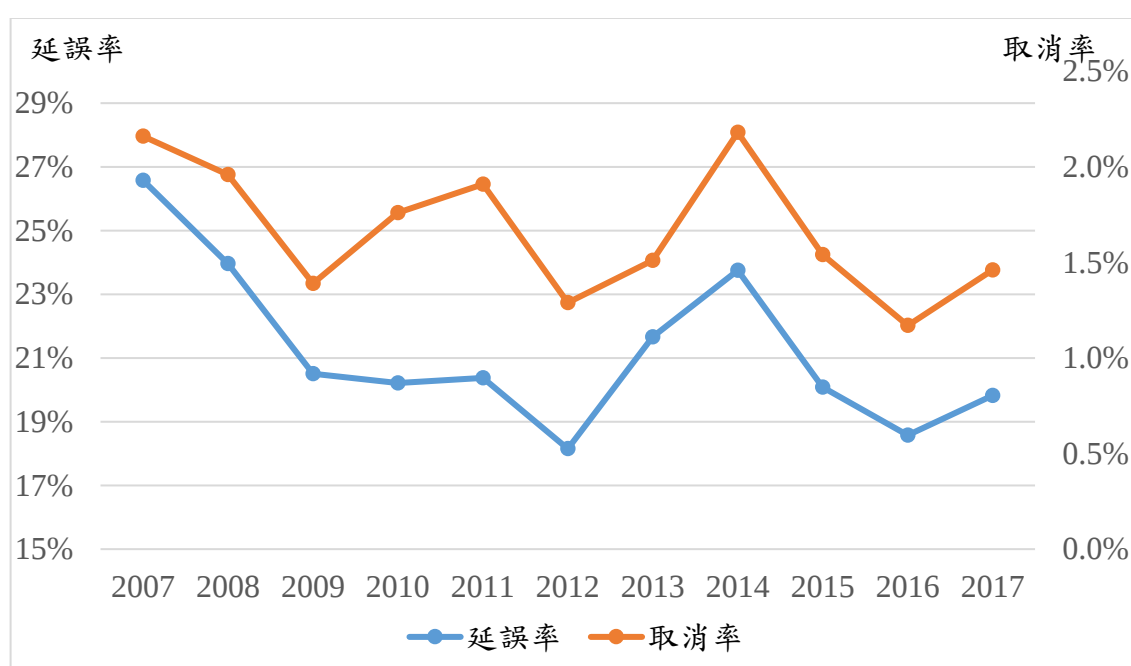


圖 1.2 美國 2007 年至 2017 年航班延誤率與取消率

資料來源：美國運輸統計局(2018)

此外，航空產業競爭壓力下，若以單一機場營運角度，在資源有限情況下(如：起降時間帶)，航空公司處於競爭狀態，彼此的決定影響機場整體績效，進而可能改變自身決策行為。假設航空公司發生合併產生競爭力改變，該機場之航空公司原本勢均力敵互相制衡變成一家獨大，使該航空公司服務品質改變，影響整體機場營運效率。過去的研究大多僅聚焦在合併或新加入航空公司或新開航線對於票價或市占率的影響分析，近年的研究將其他服務品質等也納入考量。然而較少研究針對航班延誤與取消進行探討，而本研究希望深入探討在競爭環境改變如何影響機場整體延誤以及航空公司航班取消的決策。

關於航班取消的研究，除了以最佳化模型即時決策航班取消，過去文獻模型大多使用頻率、載客率、樞紐機場等作為航班取消的解釋變數，較少針對航空公司間的競爭來探討航班取消的影響程度。僅部分研究發現當競爭程度下降時，航空公司服務品質會惡化，越偏向獨占市場的航班取消率較高(Rupp, 2006; Cao et al., 2017)，Krier(2014)的研究發現，從三家減少到兩家航空公司服務的市場的航班取消率增加了近 7%，正是因為競爭力的下降導致。由此可知，航班取消的決策確實受到機場內航空公司間競爭程度影響，不同航空公司的決策是互相影響，因此，建立航空公司間取消行為與延誤的均衡模式，捕捉航空公司決策時相互影響的關係亦是此研究之重點。

綜合上述，航班延誤與取消對於乘客、航空公司與機場造成的影響與損失是不可輕忽之議題，然而在競爭環境下取消航班的確切因素並未被充分討論與了解，且目前沒有文獻以均衡模式同時探討各航空公司航班取消與機場整體延誤之互動關係。因此本研究探討機場航班延誤、競爭性與其他因素如何影響航空公司航班取消的決策；探究航班取消對機場整體延誤的影響；建立均衡模式以分析整體互動關係與均衡的延誤與取消率，以及機場不同競爭程度下的均衡變化。研究結果期望作為航空公司、機場與政府主管機關的策略與政策參考。

1.2 研究目的

本研究主要探討機場航班延誤與其他因素等如何影響航空公司航班取消的決策，以及航班取消對延誤的影響，並建立決策時互動關係與均衡點，作為航空公司策略與政府監管機構的政策參考。研究目的如下：

(1) 探討不同因素分別對航班延誤與航班取消的影響

- 透過建立計量模型，了解排隊延誤、航班數以及其他因素對航班延誤之影響。
- 了解機場不同延誤程度對航空公司航班取消之影響，分析航段營運特性與市場競爭程度對航班取消之影響。

(2) 了解均衡的航班延誤與航班取消

- 以機場為基礎，建立機場航班延誤與各航空公司航班取消決策彼此的均衡模型，以了解整體市場均衡的延誤與取消率。

- 了解機場不同競爭程度下，均衡後的機場延誤與航空公司航班取消率之變化。

(3) 政策分析與建議

- 希望提供航空公司於競爭環境下最適當的航班取消決策參考，以協助業者了解其優劣勢，藉以提升自身服務品質與競爭力。
- 為機場提供預測航班取消與影響延誤的相關參考資訊，提前安排機場營運作業。
- 提供美國聯邦航空總署(FAA)等政府監管機構政策參考，為旅客把關各類型市場的取消率等相關服務品質。

1.3 研究流程

本研究藉由了解在航空公司對航班取消與延誤權衡的考量因素產生研究動機與目的確立。針對此研究方向，以航班延誤、航班取消、機場內航空公司競爭與等相關文獻進行研讀及彙整。綜合文獻探討結果，設計出合適的研究架構以及變數的選擇與衡量方式。透過初步資料蒐集與整理，篩選最適合之機場作為研究範圍。再針對研究範圍內的資料進行處理與應用，將資料套入模式並且嘗試各種可能情況以分析合理性，選出其中恰當的模式，並運用校估的模式結果，解釋各係數之結果，建立一機場內航空公司航班延誤與取消均衡模式，並進一步以情境模擬來分析不同競爭程度下，參與者對航班取消的互動與均衡行為。根據資料分析結果，得到適當之結論，並給予相關航空公司、政府以及後續之研究相關建議。本研究預期之研究流程圖如下圖 1.3 示：

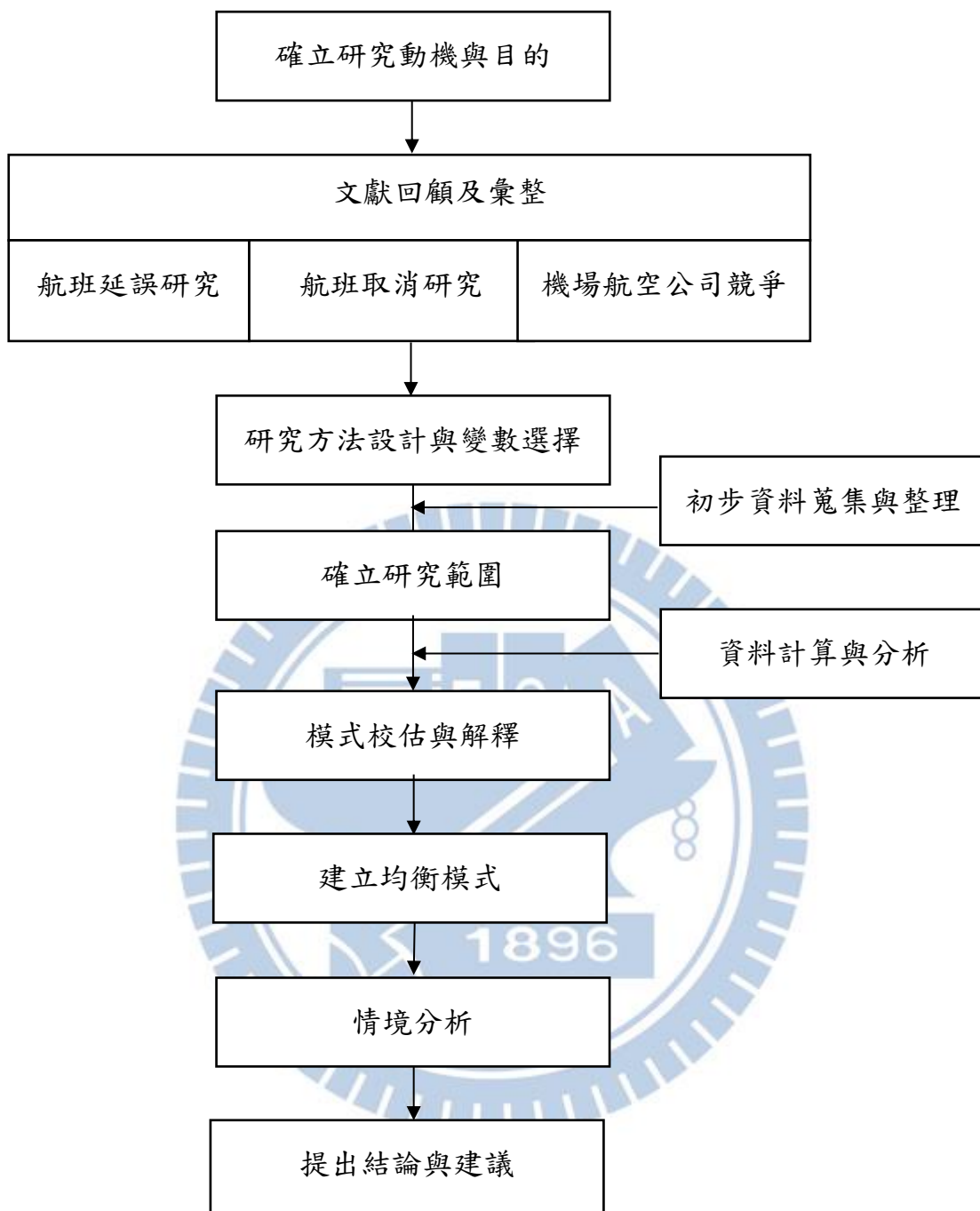


圖 1.3 研究流程圖

資料來源：本研究整理

第二章 文獻回顧

以機場營運角度而言，航班受內外因素導致延誤，而嚴重的延誤可能影響航空公司決策是否取消航班，於同一機場資源有限的競爭環境下，航空公司處於競爭狀態，彼此之決策會互相影響。本章將以航班延誤的相關研究、影響航班取消的決策因素和航空公司競爭之三大方向進行文獻整理、探討及分析。

2.1 航班延誤相關研究

航班延誤在過去研究廣泛被討論，與航班延誤相關的論文方向主要可分為兩大類：影響航班延誤因素以及航班延誤擴散後造成的影響。

探討影響航班延誤因素論文（如：表 2.1）多採用迴歸模型探討各項因素影響航班之延誤之程度，且因研究對象差異有所不同，如：航空公司或機場，前者變數包含距離、乘載率、市場集中度等航線特性相關變數；後者變數主要會以(軸心)航空公司、(軸心)機場、天氣、機場交通量與排隊延誤等。

表 2.1 航班延誤因素之相關研究

作者	研究主題	研究方法	考量因素	結論
Hsiao & Hansen (2006)	美國航班延誤在時間帶影響之計量經濟分析	建立平均每日延誤經濟模式分析美國國內航班延誤	1. 機場交通量 2. 機場當日平均排隊延誤 3. 極端的天氣、航路天氣、 4. 季節和長期效應 5. 特殊事件	1. 排隊延誤在早上發生的影響程度比中午與晚上還要大。 2. 不論是單獨或是有天氣因素交互影響下，表定時間嚴重影響平均延誤。
Santos & Robin (2010)	影響歐洲機場延誤之因素	使用迴歸模式、固定效應模式探討延誤因素。	1. 軸心航空公司 2. 軸心航空公司 3. 市場集中度 4. 時間帶容量 5. 時間 6. 人口數、GDP、失業率	1. 軸心機場延誤較高時，軸心航空公司在非軸心機場有較少的延誤，此現象只能令人困惑，只能解釋部分的歐洲軸輻系統。 2. 擁擠費應該要與尚未被航空公司內部化的擁擠外部性一致/相等。
Rupp (2009)	航空公司是否內化壅塞成本——國際	利用美國十年資料以迴歸建立基準模型，探討航空公司	1. 市場集中度 2. 軸心機場 3. 軸心航空公司 4. 距離	1. 取決於延誤測量方式不同，因為高度集中市場額外旅行時間較短。

作者	研究主題	研究方法	考量因素	結論
	化問題的實證研究	是否內化壅塞成本。	5. 乘載率 6. 航班座位數 7. 路線獨佔	2. 軸心機場越壅塞，航班延誤時間會越長，因為航空公司在航班抵達會有較平緩的時間分布，此外也會選擇準點率高的的軸心機場降落來維持軸心轉機網絡。
Baumgarten et al. (2014)	轉機集中度對於航班延誤之影響	建立固定效果迴歸模式與固定效果迴歸限制樣本，量化三個延誤指標改變樞紐集中度的影響。	1. 樞紐集中指標 2. 機場壅塞度 3. 天氣 4. 距離 5. 乘載率 6. 國家航空系統	1. 樞紐集中度對緩衝時間的延遲有正相關，航空公司使用緩衝時間，以減輕乘客對延遲的察覺。 2. 增加樞紐集中度有助於增加額外旅行時間。
Mayer & Sinai (2003)	路網效應、壅塞的外部性、空中交通延誤	以迴歸模式探討軸輻式機場的效益與對於壅塞延誤的外部性。	1. 市場集中度 2. (軸心)機場 3. (軸心)航空公司 4. 人口數、收入、就業率 5. 時間	1. 延誤隨著軸心機場的壅塞而增加，隨著機場之市場集中而降低。 2. 由於大部分壅塞成本已被軸心航空公司承包許多，最佳壅塞稅的影響效果很小。

資料來源：本研究整理

針對航班延誤擴散後之影響的文獻（如：表 2.2）多數是以機場或整個系統為研究對象，其中從 1997 年起到如今都有文獻建立不同模型，探討初始航班延誤擴散對所有網絡內之機場之影響，回顧文獻後了解到起始延誤、航班間的緩衝時間、機場內的競爭性、航空公司營運模式、乘客與機組人員等因素，可能讓航班延誤與後續航班與其他機場之擴散程度更嚴重。文獻也關注延誤擴散後導致其他航班的外部延誤、延誤造成的航空公司、旅客以及 GDP 損失等成本。因此，航空公司可能會通過取消航班來減少延誤遞延(propagation)。然而過去文獻較少探討延誤之擴散影響航班取消之行為。

表 2.2 航班延誤影響之相關研究

作者	研究主題	研究方法	結論
Jong (2000)	航空公司班機誤點延滯擴散與控制之研究	研究飛行延誤波及的範圍，建立了一套延誤控制方案，控制同一飛機、登機門連續使用與乘客轉移造成的航班延誤的擴散。	1. 航班之間的緩衝時間會影響航班延誤的擴散，如果緩衝時間短，航班延誤擴散會愈趨嚴重。 2. 調整後的緩衝時間被證明顯著改善航空公司的延誤擴散問題，與模型的有效性和可行性。
Deshpande & Arkan (2012)	航班延誤對航空公司班表的影響	利用報童模型分析(過多成本 C_o 與過少成本 C_u 比值)影響航空公司航班班表排定因素與準點率。	1. 對大部分班機而言，延誤成本比提早抵達的隱含成本低。 2. 市佔率、票價與軸輻式機場營運特性對航班準點率有顯著影響；傳統航空公司對旅客承擔更多的延誤成本。
Hansen (2002)	使用確定性排隊模型對機場延誤外部性進行微觀分析	使用確定性排隊模型分析洛杉磯國際機場跑道延誤外部性，估計每個抵達航班對彼此的延遲影響。	1. 於中度擁擠下，個別航班可能對其他航班產生 3 小時的外部延誤影響，平均影響為 26 架飛機-分鐘和 3400 個座位-分鐘。 2. 約 90% 的影響來自航空公司和航班外部性，原因是洛杉磯機場缺乏主導航空公司。
Beatty et al. (1999)	通過航線時刻表對航班延誤傳播的初步評估	開發延誤乘數 DM 之概念來量化初始延誤傳播的下游延誤的， $DM = (\text{起始延誤} + \text{下游延誤}) / \text{起始延誤}$ 。	1. 航空公司可能會通過取消航班和重新分配資源來應對長時間延誤，從而最大地減少延誤傳播。 2. 擁有較長滯港時間和較少機組人員的大型國際運營商來說，DM 可能偏小；而高頻率，短滯港時間運營商的 DM 可能偏大。
Fleurquin (2013)	美國機場網絡的系統延誤擴散	通過定義機場被認為擁擠的時間以及研究擁擠的機場如何形成網絡中的連接集群，引入對網絡層級的延誤延伸的測量方式。該模型包括三種傳播延誤的主要機制：飛機旋轉，乘客或機組人員的飛行連接以及機場擁塞。	1. 即使在正常操作條件下也存在不可忽視的系統不穩定風險。 2. 將乘客和機組人員連接確定為導致延遲傳播的最相關的內部因素。

作者	研究主題	研究方法	結論
Ball et al. (2010)	總延誤影響研究：全面評估美國航班延誤的成本和影響	全面分析了航班延誤造成的各種成本因素，包括成本航空公司、乘客的成本、潛在需求損失的成本，以及延遲影響美國的間接經濟。	1.此研究計算之乘客延誤成本包含了航班取消與錯過轉機航班帶給乘客的大量延誤成本 2. 2007 年美國所有航空運輸總延誤成本是 329 億美元。其中價值 83 億美元是航空公司增加機組人員、燃料、維護等，167 億美元是因航班延誤，航班取消和錯過轉機而造成乘客時間損失，39 億美元成本是因避免航機延誤而損失潛在需求乘客的福利損失。

資料來源：本研究整理

2.2 影響航班取消決策因素

過去文獻對於航班取消有諸多討論，雖然研究目的不盡相同，但大多可分為兩大類：將航班延誤導致的航班取消建立最佳化模式，例如基於最大化或最小化給定的目標函數(如利潤最大或延誤最小)來決定取消航班與否，為航空公司開發航班延誤或取消決策支援系統(Cao and Kanafani, 1997; Argüello et al., 1997; Yan and Yang, 1996)，或評估地面延誤計劃(Ground Delay Program, GDP)期間的需求不確定性(Ball et al., 2001; Willemain, 2002)。另一類是根據歷史資料，以二元羅吉特或普羅比模式探討航空公司取消偏好(Xiong and Hansen, 2013; Alderighi and Gaggero, 2018; Rupp and Holmes, 2006; Fukui and Nagata, 2014; Seelhorst, 2014)，且影響航班取消因素會因研究對象(如：航空公司或機場)有所不同，樣本的單位(如：每一航班資料或是每一航線的月平均資料)也影響著變數的選用與更進一步的分析。本研究依序以延誤與機場交通量、競爭性、航線營運特性、航網、天氣與時間六大取消決策因素進行探討，並將此部分論文內容經過彙整並進行探討(如：表 2.3)。

(1) 延誤與機場交通量：

航空公司會權衡長時間的延誤與航班取消的成本與影響，將航班取消視為結束航班延誤的最後手段，回顧 Xiong and Hansen (2013)使用了三種延誤相關變數，分別是被地面延誤計畫(GDP)指派的起始延誤、內部延誤、延誤節省時間，研究

結果表示不論是因地面延誤計畫導致或是航空公司機械等內部問題導致的延誤越高，皆會使取消可能性提高。延誤節省時間表示取消該航班使其他航班減少的延誤時間，若取消能帶來的節省其他的延誤越多，越容易被取消。另一方面，透過將地面延誤計畫延誤以分段線性模型，發現延誤對航班取消的效用是非線性，在 15 至 90 分鐘時取消機率呈增加，90 分鐘後下降，此模型揭示延誤成本函數與取消成本的權衡，可供指派員作為決策參考。Seelhorst (2014)也將地面延誤計畫以虛擬變數納入考量，其結果與 Xiong and Hansen (2013)一致，另外考量了起訖機場的等候延誤，代表起點和目的地機場的擁堵程度，發現由需求和容量之間的不平衡引起的較大的排隊延誤對航班取消影響巨大，並用延誤的平方項發現，隨著排隊延誤越大，航班取消效用的邊際效果會逐漸減小。值得一提的是，美國於 2010 年實施一法規，若航班長時間停駐於停機坪上之機上延誤，便應提供旅客下飛機機會。Fukui and Nagata (2014)結果表明，此法規迫使航空公司大幅減少停機坪延誤，但增加了起飛延誤和航班取消。

起點機場或迄點機場的擁堵會增加飛行延誤時間，Cao et al. (2017)起點機場壅塞在模型中不顯著，但迄點機場壅塞是顯著且正效用(Rupp and Holmes, 2006)。另一方面，Alderighi and Gaggero (2018)使用起點機場交通量，發現呈正效用且顯著，說明較大的機場有更高的航班取消率。

(2) 競爭性：

在航班取消的研究有深入探討到競爭的較少，其中，Rupp and Holmes (2006)與 Alderighi and Gaggero (2018)研究中使用市占率衡量競爭性作為航班取消的解釋變數。前者發現在某航線等級的市占率較高的航空公司，其邊際取消率較高，服務品質更差。後者認為航線上的市場支配地位對航班取消有顯著影響，同時以每日航班的數量和航線上的市占率為變數，表達航線在航線上的存在越強，航班取消機率越高。此外，Cao et al. (2017)以航空公司航線的收入市占率計算赫芬達爾—赫希曼指數(HHI)以衡量航線市場的競爭程度，發現競爭與取消率是非線性關係，隨 HHI 增加，競爭力下降，取消率呈遞增成長。在 $HHI = 0.1$ 時，HHI 增加 10% 的邊際效果對取消率的影響為 0.08%， $HHI = 0.9$ 時，增加至 0.183%。此外，Rupp and Holmes (2006)發現其研究範圍內有超過一半以上的航線皆是由單一營運商服務，故以虛擬變數來表達是否為獨占。Rupp and Holmes (2006)和 Mayer & Sinai (2003)，採用較大(小)的雙占來檢視由兩家營運商服務的航線績效。獨占

與小型雙占也有相似的結果，越競爭的航線的取消率越小，壟斷的航線取消率也提高了 0.23%。鑒於 Borenstein and Netz (1999)的報告中發現，與多家航空公司營運的航線相比，在航班數量相同下，獨佔商較高的航班取消率是因為其起飛時間差異較大，能避免過於集中在尖峰，進而使獨佔商可更容易維持班表。

(3) 航線營運特性：

航線的營運特性也是眾多學者會納入考量之一，但變數不盡相同，以下分別討論頻率、載客率、機型大小、距離與票價收入。

頻率是大部分學者皆會考慮(Xiong and Hansen, 2013; Alderighi and Gaggero, 2018; Rupp and Holmes, 2006; Fukui and Nagata, 2014; Seelhorst, 2014)，研究皆顯示航班數越高，取消可能性越高，表示航空公司會偏好取消有更多可替代的航班。Alderighi and Gaggero (2018)則說明航空公司在取消航班方面有一定的餘地，當航班數量很高時，航空公司可以更容易地在下一次航班上重新安排乘客，同時縮短旅客等待下一航班時間(Pai, 2010; Xiong and Hansen, 2013, Rupp, 2006)，也可看出航線在航線上的主導地位降低了服務品質(Mazzeo, 2003)。另外，Rupp and Holmes (2006)考慮了旅客不便性，提出「額外的航班」來表達航班被取消後需要額外的航班容納運送該旅客，結果說明若需要額外的航班越多，則越不常被取消。

部分研究也會將載客率納入考量，載客率對航班取消的效用是負效果(Xiong and Hansen, 2013; Seelhorst, 2014; Cao et al., 2017)，載客率越高，航空公司替旅客重新訂票會越困難。Cao et al. (2017)提到當載客率增加 10%，平均取消率會減少 0.135%。此外，機型大小也同樣是負效用，航空公司偏好取消機型較小座位數較少的航班，變數使用以座位數量計算(Xiong and Hansen, 2013; Seelhorst, 2014; Rupp and Holmes, 2006; Fukui and Nagata, 2014)，但後二者結果不顯著，或以座位數量將機型大小分群(Cao et al., 2017)。

另外，航空公司可能偏好取消航程較短的航班(Xiong and Hansen, 2013; Seelhorst, 2014)，前者直接以長度計算，後者將長度以 500、750、1000、1500 英里分五大類，以 500-750 做基準用虛擬變數衡量。然而，Rupp and Holmes (2006)將航線長度以 400、800 分為三大類，以長程(800 英里以上)做基準，但結果不顯著，故認定航班取消的決定與航線長度是獨立的。

航空公司通常追求利潤最大化，推測會較不容易取消票價較高的航班。Rupp

and Holmes (2006)以平均收入為變數，在假定飛機承載該航線和航空公司的平均乘客數量下，結果說明平均收入顯著且與航班取消呈負相關。另外，也考慮用潛在收入表達了因飛機取消而導致的收入損失的上限並假設每個座位都被占用，但結果不顯著。相反的，Xiong and Hansen (2013)和 Seelhorst (2014)的結果都顯示平均票價越高，其取消率越高，與假設相反。前者另外採用了市場票價，結果也是正效用，推斷可能是票價越高反映了競爭力低與旅客的高時間價值，而低競爭力也代表其不怕取消航班會與競爭對手相比失去市占率。

(4) 航網：

航空公司航網布局與機場息息相關，而關於航班取消的文獻，幾乎所有研究皆有考慮與機場相關的變數，其中樞紐機場是重要的變數。Xiong and Hansen (2013)只考慮迄點樞紐機場是容易被取消。起訖點樞紐機場皆考慮是多數學者採納之方法(Alderighi and Gaggero, 2018; Rupp and Holmes, 2006; Fukui and Nagata, 2014)，負係數的結果確定了所謂的「樞紐效果」，Rupp and Holmes (2006)以供應與需求方面解釋，航空公司避免取消起點樞紐機場的航班以保持其飛行網絡運行。此外，樞紐目的地機場通常涉及轉機乘客，取消航空樞紐目的地航班對於轉機乘客是不方便的，尤其對於國際旅行者(Seelhorst, 2014)。

(5) 天氣：

航機在進行整段飛航作業時易受到起迄機場及空中飛航天氣影響，尤其是對於航機起降時因惡劣天氣造成的能見度降低、風速增大等等，嚴重時可能會造成航班取消。研究中會控制起訖機場的各種天氣狀況，相對於晴朗的天空，係數幾乎都顯著且為正數，Alderighi and Gaggero (2018)係數的大小可以看到濃霧、降雪與雷雨的對航班取消的影響更大。值得一提的是，它納入了除冰作業為變數，結果與上述一致。Rupp and Holmes (2006)研究中包含降雨、最低溫度及降雪等，其結果顯示降雪比降雨對航班的擾動更為嚴重。Seelhorst (2014)採用儀器天氣情況(IMC)、能見度、風速、降雨、降雪與雷暴雨，其結果唯一不顯著的是儀器天氣情況，可能是因為直接在其他天氣變量中捕獲了導致 IMC 條件的所有因素。其中雷暴雨和降雪的係數值遠大於其他變量，是因為雷暴的存在相當於近 30 英里/小時的風速，而降雪具有更強的效果。Cao et al. (2017)則是採用降雨和降雪量超過當

月 95 百分比的天氣在該月的比例代表暴雨與暴雪，結果皆呈正值與顯著。

(6) 時間：

不同時間航班起飛時間對於航空公司取消偏好可能不同，但通常是為了最大收益，研究中通常會採用星期或是分成早上、中午、晚上的起飛時間。眾多研究結果發現周末的航班較不容易被取消(Alderighi and Gaggero, 2018; Seelhorst, 2014)，推測是因為周末多為休閒旅客，若取消則需承擔較多的住宿餐飲以補償錯過的假期(Rupp and Holmes, 2006; Xiong and Hansen, 2013)。Seelhorst (2014)研究以凌晨為基準，因此相對於基準時間起飛的航班，早上係數為負、下午為正數但數值較小，晚上的係數更大的正數，表明深夜航班比早上航班更有可能被取消(Cao et al., 2017)，可能是因為當日的累積延誤。

表 2.3 航班取消之相關研究

作者	研究主題	研究方法	結論
Xiong & Hansen (2013)	模化航空公司航班取消決策	以顯示性偏好與二元選擇模型，預測航空公司回應交通管理計畫(TMI)，另以分段線性模型了解延誤對取消的影響。分析單位為每一航班，依變數為取消與否。	1.機型越大、載客越多、班次頻率較少、短距離、航班起點是樞紐機場較不容易被取消。 2.延誤對取消機率的影響是由遞增到遞減。
Alderighi & Gaggero (2018)	歐洲航班取消與聯盟	以每一航班為單位，二元羅吉特模型了解航空公司聯盟對航班取消的影響，再以分數回應模型做穩健性測試。	航空公司加入全球聯盟顯著的增加航班取消的概率，因為取消後可以仰賴盟友的網絡，強化航線與樞紐機場的主導力量，進而造成乘客不便，此現象需要監管會的注意。
Rupp & Holmes (2006)	航班取消決定因素之研究	考量了競爭、航網、旅客不便性、收入最大化，以每一航班進行普洛比模式校估，並將起飛時間、機場規模不同之樣本分開建模。	1.越競爭的航線、樞紐機場為起迄點的航班較不容易被取消。 2.航空公司確實考量載客率、頻率等最小化乘客的不便性。 3.平均收入較高的航線的取消率降低，顯示航空公司最大化利潤。

作者	研究主題	研究方法	結論
Fukui & Nagata (2014)	將航班取消視為對停機坪延誤法規之反應	將航空公司每航線每月取消率作依變數，使用迴歸模型檢測停機坪延誤法規對航班取消與起飛延誤的效果，是否利於乘客。	1.被調查的航空公司有風險規避行為，即增加航班取消與起飛延誤以避免違規。 2.在頻率最多與最少的航線上對已預訂乘客有副作用，該規則是否效益與成本需再評估。
Seelhorst (2014)	航班取消與航空系統績效	羅吉特模型來推斷航空公司在航班取消方面的偏好和行為，使用排隊模擬技術來確定航班取消對延誤估計的影響，並以實證了解有排隊延誤的取消模型作為解釋變數來預測由需求增加引起的取消。	1.即使在考慮惡劣天氣影響時，航班特性也是取消的重要因素，且航空公司異質性很大。 2.實證分析中擬議的需求增加5%相比，出發取消將以幾乎一比一的比例增加，從而無法從更密集的時間表中獲益。
Cao et al. (2017)	服務品質上市場結構非線性效果	使用 5472 個航線組合的月資料，依變數為取消率，使用分數回應模型。由於取消率限制在 0 和 1 之間，在建立了雙尾 Tobit 模型，以探討航空公司競爭對服務品質(航班取消與延誤)的影響。	航班延誤和取消率的平均長度隨著集中度而增加。糟糕的服務品質與競爭減少有關。此外，服務品質和市場集中度的關係是非線性的，因此給定航空公司競爭變化，其影響程度取決於最初的競爭水準。

資料來源：本研究整理

綜合所參考之文獻之影響決策因素並列出在模式中顯著變數(如表 2.4)，了解在不同情況下可能造成航空公司決策航班取消因素與其重要性，時間與天氣幾乎被所有文獻納入考量外，起訖點機場是否為樞紐機場也是重要因素，該變數影響航空公司航網的連續性；其次是航班頻率多寡，直接影響航空公司對被取消的旅客安排；機場交通量與延誤代表了該機場壅塞程度與延誤情況，也是影響航班取消決策的重要變數；航線競爭性變數則根據文獻主題而有所取捨。故本研究以延誤與交通量、競爭性、航線營運特性、機場、天氣、時間等六大類型變數做為參考。

表 2.4 探討航班取消之考量因素相關文獻整理

作者	主題研究	延誤與機場交通量						競爭性				航線營運特性								機場		天氣	時間	特殊事件(罷工)	低成本航空	
		GDP 起始延誤	內部延誤	延誤節省	起飛(等候)延誤	機場交通量	停機坪延誤法規	市占率	獨占/雙占	HHI	聯盟	距離	機齡	班次頻率	機型大小(座位)	票價	市場票價	載客率	平均收入	額外航班	樞紐機場					機場大小
Xiong & Hansen,2013	模化航空公司航班取消決策	◎	◎	◎							◎		◎	◎	◎	◎	◎			◎						
Alderighi & Gaggero, 2018	歐洲航班取消與聯盟					◎		◎		◎			◎							◎		◎	◎	◎	◎	◎
Rupp & Holmes, 2006	航班取消決定因素之研究					◎		◎	◎		◎		◎	○				◎	◎	◎	○	◎	◎	◎		
Fukui & Nagata, 2014	將航班取消視為對停機坪延誤法規之反應						◎					◎	◎	○						◎		◎	○			
Seelhorst ,2014	航班取消與航空系統績效	◎			◎						◎		◎	◎	◎		◎			◎		◎	◎			
Cao et al., 2017	服務品質上市場結構非線性效果					◎				◎				◎			◎			◎		◎	◎	◎		

註：○文獻有使用此變數、◎文獻有使用此變數且顯著

資料來源：本研究整理

2.3 航空公司競爭

多數航空業關於競爭影響的研究都集中在票價上。然而，最近航空公司競爭的非價格因素也受到關注，而航空公司的競爭可分為在航線上的競爭以及在機場內競爭。

關於航線上的競爭，部分論文探討了航空公司競爭與準點率之間的關係，並發現減少競爭與準點率下降有關。Mazzeo (2003)發現越集中的市場會有更頻繁和更長的航班延誤。Rupp and Holmes (2006)基於航線等級資料得出相同的結論。Greenfield (2014)使用工具變數，發現競爭力下降與準點率的大幅度惡化相關。以上研究都假設準點率和競爭之間存在線性關係，但是 Cao et al.(2017)以航線等級的每月平均資料，觀察到準點率與取消率的服務品質與市場的集中度呈非線性關係。

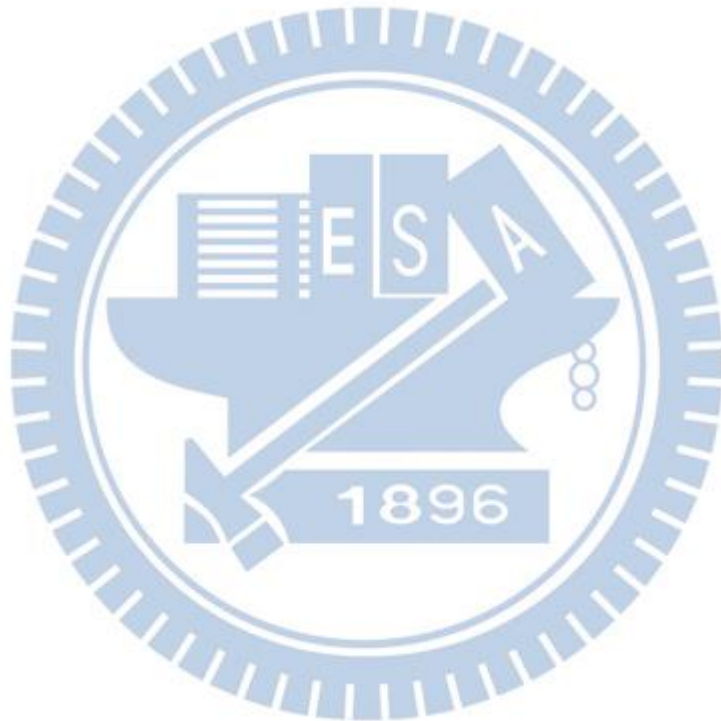
航空公司在機場內的競爭通常是以機場之航空公司市場集中度(HHI)衡量，指出機場市場集中度顯著影響航班的延誤。Santos and Robin (2010)和 Mayer and Sinai (2003)研究結果發現當機場內航空公司市場越集中則延誤越低，可能因機場由少數航空公司所主宰，故時間帶等資源使用上較彈性，可內化延誤。然而 Rupp(2009)卻有相反結論，其推論是因為主宰機場之航空公司若在高峰期無提供足夠的航班滿足消費者航空旅行需求，可能會危及其市場地位，故可能會想辦法增加航班數，進而造成機場壅塞而延誤。

回顧文獻可發現競爭性是影響準點率、延誤與取消航班之不可忽略的因素，但各篇文獻計算集中度之方式與研究結果不盡相同有待商榷，過去文獻衡量市場集中度方法大多採用赫氏指數(Herfindahl-Hirschman Index, HHI)之概念，其計算依據主要分成兩種：航空公司提供的航班數(Rupp, 2009)或是航空公司提供之座位數(Hao & Hansen, 2014)，因此本研究運用赫氏指標衡量適合本研究的競爭性之指標。

而上述研究大多僅應用迴歸或羅吉特模式等計量經濟模型，然而，目前沒有人將機場的航班取消與延誤之互相影響建立模型，了解競爭對手取消決策的互相影響行為。

2.4小結

綜合而言，關於航班延誤的大部分的文獻專注於航網、天氣、交通量等影響因素與延誤擴散，但較少延伸至航班的取消。而根據航班取消相關文獻可將影響取消之因素大致歸類上述六大類，以及航班取消後即時決策支援，但幾乎沒有談及取消對機場延誤的影響。航班取消決策與機場內的延誤相關，進而也與競爭對手息息相關，然而關於航空公司競爭相關文獻仍多以票價與頻率為主，僅少數探討準點率與取消。綜合上述，本研究欲參考過去文獻，建立航空公司航班取消模式與機場航班延誤模式，並建構航空公司在機場資源有限下與的取消與延誤均互動平衡模式，進而可了解競爭變化下的均衡改變。



第三章 研究方法與設計

本研究首先詳述本研究欲以機場營運角度建立系統性分析架構，分析機場航班延誤與取消行為，並透過計量經濟模式建立航班取消的選擇行為以及機場內航班延誤模式，在藉由此兩個模型互相影響下，模擬航空公司在航班取消行為決策的相互連動，尋找最佳均衡點。

3.1 系統分析架構

本研究的架構是以機場與航空公司營運之角度，探討航空公司面對航班延誤與取消的均衡變化，系統運作如圖 3.1。各家航空公司在數個月前安排好之表定航班數量，加總後即為該機場的總航班數，但機場航班起降時常因為機場營運特性、天氣、容量限制、來機晚到等外在因素，導致特定時段之航班需求量大於容量限制，進而讓該機場之起降航班發生延誤需要排隊等待。另外，航班延誤可能有延誤擴散之特性，當延誤情況越嚴重，航空公司會考慮取消航班以避免長時間延誤以及延誤擴散後的準點率下降。當嚴重延誤的機場內有任一等待航班被取消，整個機場內其餘排隊航班的等候時間會減少。舉例來說，若 A 航空公司取消航班數較多，雖能減少自己其餘航班的等候時間，但須承受取消率上升，也同時造福競爭對手 B 航空公司；而 B 航空公司受惠於 A 航空公司取消航班帶來的機場延誤減少，因此可能會改變其取消航班之決策。

整體而言，機場內的總航班數增減會影響機場內每一航班延誤時間的長短，預期延誤時間長短則會影響航班取消的決策與多寡，每一家航空公司有各自的取消航班的模式，其決策結果又會反應至機場總航班數，進而影響機場內所有的航班延誤時間，因此其他家航空公司航班與決策皆受影響。由此可知，航班取消與延誤是互相影響，此互動關係可藉由市場機制達到均衡，即該機場的航空公司取消決策與航班延誤不再變動後，達到機場整體航班數、取消數、航班延誤之均衡。本研究建立航空公司航班取消行為與機場航班延誤模式，藉由總起降航班數與延誤的變化達到取消率均衡，探討航空公司不同情況下延誤與取消的均衡點。

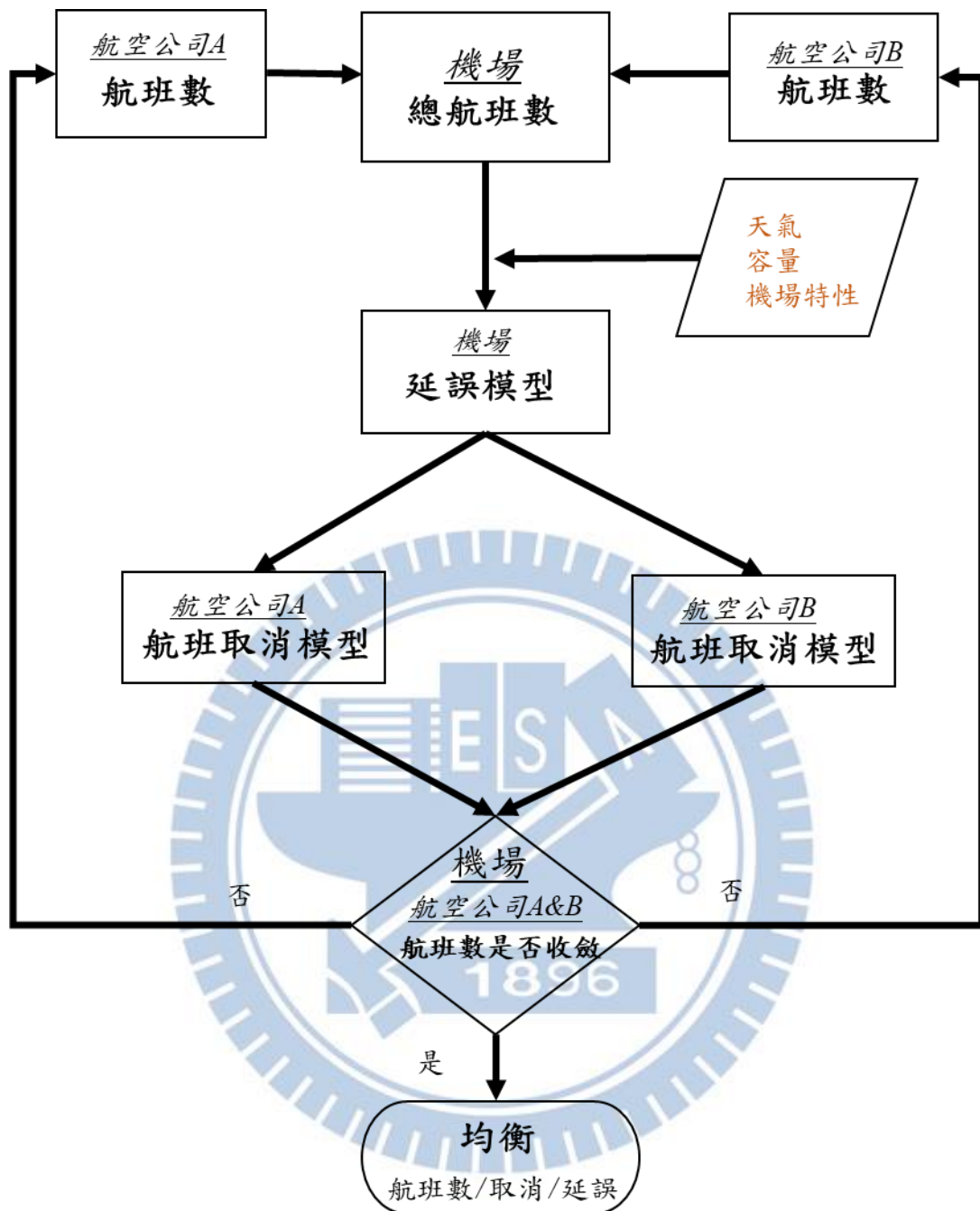


圖 3.1 航班延誤與取消均衡概念圖

資料來源：本研究整理

3.2 迴歸計量模型

統計學上分析數據最常使用的方法之一就是迴歸計量模型(Regression Model)，迴歸計量模式主要是建立依變數 Y 與自變數 X 間關係之模式(Wooldridge, 2015; Greene, 2003)，了解兩者是否相關、相關方向與大小並可用以預測被解釋變數。根據自變數的數量可將迴歸分析分為兩大類，模式僅一個自變數稱為「簡單迴歸」，兩個以上自變數稱為「多元迴歸」依據資料類型又可將迴歸模型分為時間序列、橫斷面以及縱橫資料。本研究考量多項影響延誤的因素以及以單一機場特定時間內資料進行實證研究，故採用多元迴歸模型。

根據資料類（如：研究對象以及研究時間長短）可分為三大類，分別是橫斷面資料、時間序列資料以及縱橫資料，不同類型之資料在模式應用上有其優缺點。本研究所適用為時間序列資料(time series data)之迴歸模型，是包含一變數或多變數於規律時間間隔收集之觀察值的跨時間資料。本研究參數估計先採用最小平方法(Ordinary Least Squares, OLS)。

時間序列資料容易產生相鄰期間之誤差項有相關性，如第 t 時的航班延誤與前一期 t-1 等可能有很大的相關，即自我相關(Autocorrelation)的問題，違反 OLS 模式誤差獨立之假設。若採用一般 OLS 校估模式，則使標準誤會有偏誤，係數之顯著性檢定所得之推論也不可靠，故採用自迴歸模式(Autoregressive model, AR)，例如： $y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + u_t, t=1,2,\dots$ 。其平均數為 0，變異數為 σ_u^2 ， u_t 獨立於 y_0 且 $E(y_0) = 0$ ，誤差項具有同質變異性且無序列相關。，即對所有 $t \neq s$ ， $E(u_t, u_s | x_t, x_s) = 0$ 。為了檢定誤差項是否有序列相關，首先考慮當自變數為嚴格外生的情況時，AR(1)可採用 t 檢定或 Durbin-Watson (DW) 檢定，並利用廣義最小平方法 GLS 來訂正 AR(1)序列相關，反之可採用 Durbin'h 統計量檢定，並利用 Newey-West 的方法跑 OLS 且算出穩定序列相關之標準誤。若擴展至高階序列相關 AR(q)則可採用拉氏乘數(LM)統計量，即 Breusch-Godfrey 檢定。

另外，時間序列資料的變異數的波動幅度有可能隨時間變化，即產生異質變異性(Heteroscedasticity)問題，違反 OLS 模式的同質變異性假設，雖不會導致 OLS 的估計量的偏誤或不一致性，但會導致標準誤偏誤，統計推論無效，可以利用 White 檢定或 Breusch-Pagan 檢定來檢定資料是否有異質變異性，或直接使用穩健異質統計法或加權最小平方估計(WLS)來建立模式。Engle 於 1982 年此提出自我迴歸條件異質變異模型(Autoregressive conditional heteroskedasticity model, ARCH)，

其特性在於條件變異數受前期波動而影響，可較精準描繪波動叢聚現象。假設對一系列 y_t 的變異數建立模型。模型 y_t 的變異數的 ARCH(q)模型如下式(3.1)·(3.2)： ε_t 無條件下則服從平均數為 0 變異數為常數。有條件下則為服從 $E(\varepsilon_t|x_t, \varepsilon_{t-1}) = 0$ 以及式(3.3)：

$$y_t = \beta x_t + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_t^2} \quad (3.2)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \cdots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 \quad (3.3)$$

Bollerslev(1986)將 ARCH 模型擴充為廣義自我迴歸條件異質變異模型 (Generalized Autoregressive conditional heteroskedasticity model, GARCH)，GARCH(p,q)模型的條件變異數不僅是落後期數殘差平方的線性函數,而且是落後期數(p)條件變異數的線性函數。GARCH(p,q)迴歸式如同 3.1，條件變異數為式(3.4)。

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = & \alpha_0 + \delta_1 \sigma_{t-1}^2 + \delta_2 \sigma_{t-2}^2 + \cdots + \delta_p \sigma_{t-p}^2 \\ & + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \cdots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

本研究之迴歸模式設計參考 Hsiao and Hansen(2006)之論文，如式(3.5)，以每小時的航班資料作為分析單位，資料是一年內美國特定機場航班起降的時間序列資料，觀察數個影響延誤之重要因素之多元迴歸，並利用 AR、ARCH、GARCH 以及穩健(Robust)標準誤，處理序列相關與異質性等時間序列資料計量模型之可能問題。誤差項如式(3.6)、式(3.7)、式(3.8)、式(3.9)：

$$D(t) = f[Q(t), S(t), I(t), V(t), W(t), M(t)] + u_t \quad (3.5)$$

$$v_t = \epsilon_t - AR1 \times v_{t-1} - AR2 \times v_{t-2} \quad (3.6)$$

$$\epsilon_t = \sqrt{h_t} e_t \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} h_t = & ARCH1 \cdot \epsilon_{t-1}^2 + ARCH2 \cdot \epsilon_{t-2}^2 + GARCH1 \cdot h_{t-1} + GARCH2 \cdot h_{t-2} \\ & + Het1 \cdot Q(t) + Het2 \cdot S(t) \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$e_t = IN(0,1) \quad (3.9)$$

$D(t)$: 第 t 小時的平均起飛或抵達延誤

$f()$: 決定性函數

$Q(t)$: 第 t 小時每一航班決定性排隊起飛或抵達延誤
 $S(t)$: 小時 t 的表定起降航班數
 $I(t)$: 在小時 t 的機場是否營運於儀表飛行規則(IFR)下
 $V(t)$: 在小時 t 的機場能見度
 $W(t)$: 第 t 小時機場的平均風速
 $M(t)$: 捕捉季節性因素
 u_t : 隨機誤差項
 ϵ_t : 由 h_t 與 e_t 定義之隨機誤差項
 h_t : 直到 $t-1$ 時的所有資訊下的條件變異數
 e_t : 服從平均數為 0 且變異數相等的常態獨立且完全相同分配 (IID) 之隨機誤差項
 $AR1$ 、 $AR2$ 、 $ARCH1$ 、 $ARCH2$ 、 $GARCH1$ 、 $GARCH2$ 、 $Het1$ 、 $Het2$
 為估計之參數

依變數：

本研究迴歸分析之依變數為每小時每一航班平均起飛與抵達延誤時間(分鐘)，主要探討整體起降航班延誤之現象與自變數之間的正負相關性，其中提早起飛或抵達的延誤所算出的延誤時間負值不進行考慮，以延誤時間 0 紀錄。

自變數：

(1) 排隊起飛或抵達延誤：針對每一小時的班次需求跟班次供給的部分，利用機場航機排隊延誤圖(Queuing delay) (如圖 3.2) 中的可服務班次數(起飛/抵達容量)與表定起飛/抵達班次數(累積起飛/抵達需求量)兩線的垂直距離為排隊等候之航班數量，兩線水平距離為排隊等候時間，透過兩曲線面積可得出平均排隊延誤時間。

(2) 流量：文獻中常採納航班數量作為機場交通量的量化變數，由於起飛與抵達的航班會共用空中與地面資源，故本研究擬採用表定航班數量(班次/小時)做計算，此變數將實際取消的航班納入考量，可能捕捉了潛在交通量效果。預估機場交通量越高，可能使擁擠情形越嚴重，造成延誤發生與平均延誤時間的增加，預期流量越高，易造成延誤發生與平均延誤增加。

(3) 天氣：若起降機場只要任一方遇大霧、暴雨、強側風、降雪造成能見度低於標準或側風過大時，起降航班會受到影響造成延誤。而儀表飛行規則(IFR)、側風風速與能見度能更精確捕捉機場容量效果。本研究預估儀表飛行狀態、風速與航班延誤呈正向關係，能見度與航班延誤呈負向關係。

(4) 時間：因航班延誤常具有季節性，在控制其他自變數下，以時間性變數來看時間固定效果，對當時的延誤(依變數)造成短期的固定影響，採用月份虛擬變數控制。

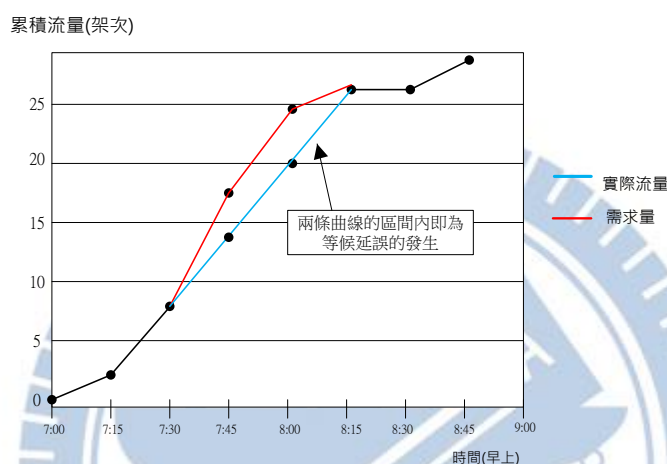


圖 3.2 機場航機排隊延誤圖表

資料來源：參考自 Hsiao & Hansen (2006)

表 3.1 彙整延誤模式所採用之變數，包含排隊延誤、流量、天氣相關變數以及月份，能見度預期為負數，其他變數預期為正數。

表 3.1 航班延誤變數預期正負號

變數類型	變數名稱	預期正負號
排隊延誤	排隊起飛或抵達延誤	+
流量	表定起降航班數量	+
天氣	儀表飛行狀態	+
	能見度	-
	風速	+
時間	月份	N/A

註：-為預期負相關、+為預期正相關、N/A 為無法預期

資料來源：本研究整理

3.3 間斷選擇模型

間斷選擇模式(Discrete Choice Model)是計量經濟模型之一，廣泛運用在旅運者選擇行為之研究(Ben-Akiva & Lerman, 1985; Train, 2009)，假設旅客可從數個替選方案中，選擇效用最大之方案，故每個方案可求出個體效用函數，包含可衡量之效用及不可衡量之殘差，藉由效用之多寡，得知消費者之滿意程度，進而了解其選擇行為。在間斷選擇模式理論中，對誤差項做不同之假設可推導出不同之個體選擇模式。若 ε_{in} 為多變量常態分配，可推導出普羅比模式(Probit Model)；若 ε_{in} 服從各項方案為獨立且完全相同(IID)之 Gumbel 分配則可推導出羅吉特模式(Logit Model)。本研究欲了解航空公司決策航班取消與否的行為，可使用二元羅吉特模式(Binary Logit)或是普羅比模式(Probit Model)。

二元羅吉特模式之特性為兩替選方案的相對機率僅與兩方案特性有關，與選擇集合中的其他方案無關。而出於本研究之目的，航空公司被認為是效用最大化者，也就是航空公司在面對取消或不取消航班中獲得一定數量的效用，並且每個選擇都是因為他最大化了該航空公司在該選擇情況下的效用，因為每家航空公司對選擇效用有不同感受，故方案的效用是具有隨機性的。本研究針對每一航班會選擇取消(方案 $c=1$)或不取消(方案 $c=0$)的決策，而每一航班的決策者則是其營運之航空公司，一系列可觀察的因素影響的航空公司的取消效用，將此些因素以線性方式納入隨機效用模型，如式(3.10)：

$$U_{ic} = V_{ic} + \varepsilon_{ic} = \sum_k \beta_k x_{ick} + \varepsilon_{ick} \quad (3.10)$$

其中， U_{ic} 是航班 i 選擇取消航班的效用， V_{ic} 被稱為確定性效用，因為它包含本研究可觀察到的因子。 ε_{ic} 是隨機效用，為研究者無法觀察到之因子。 x_{ick} 是航班 i 被取消的第 k 個可觀察因子，如載客率、頻率等， β_k 是可觀察因子的係數，為解釋變數對效用函數之影響程度， ε_{ick} 代表不能量測到之誤差項。經正規化 $V_{i0} = 0$ 後，對於航班 i 而言，選擇取消航班的機率如式(3.11)：

$$P_{ic} = \frac{e^{V_{ic}}}{e^{V_{i0}} + e^{V_{ic}}} = \frac{e^{V_{ic}}}{1 + e^{V_{ic}}} \quad (3.11)$$

普羅比模式假設誤差項為多變量常態分配，其選擇機率非封閉型態，在三個以上方案時計算過程與校估係數較為繁瑣。普羅比模式假設依變數是一個 0,1 變數，事件發生的機率是來自於自變數，即 $P(Y = 1) = \Phi(X)$ ， Φ 為累積標準常態分

配如式(3.12)，普羅比模式機率如式(3.13)，普羅比與羅吉特模式皆假設殘差項為同質變異數，若存在異質性則代表 $Var(\varepsilon) = (exp(\gamma z))^2$ ， $\gamma = [\log \sigma^2, \alpha]$ ， $z = [1, q_i]$ ， q_i 為原先之變數。檢測普羅比模式中是否存在異質的殘差變異數可藉由 LM、LR、WALD 檢定。

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.12)$$

$$\Pr(Y = 1|X) = \varphi(\beta_0 + \beta_1 X) \quad (3.13)$$

依變數：

本研究的航班取消模式以每一航班作為分析單位，並採用二元羅吉特、普羅比、異質性普羅比模式，模式使用的依變數為取消與否(0,1)的決策，不取消視為 0，取消則為 1。

影響因素：

(1) 延誤與交通量：取消的決策是考量機場當下的營運狀況，即交通量與延誤情形，故本研究擬採用每小時表定起降航班量作為機場交通量的變數，表定航班數越多，可能易造成延誤與取消。以容量與表定流量計算得出之排隊延誤可視為預期等待之延誤，以及 t 時平均起飛與抵達延誤，預期 t 時平均起飛延誤、t 時平均抵達延誤、排隊延誤越嚴重，越容易取消航班。

(2) 競爭性：航空公司在考量該取消哪一航班時，會考慮航段以及機場內競爭性，期待最大利益下並維持良好的服務品質，本研究考量該航空公司在該航段之市佔率、航段的市場集中度(HHI)。航段市佔率越高其市場力量較大，或市場集中度越高，越偏向獨佔，預期容易取消。市佔率與 HHI 在模式中的數值範圍是由 0 至 1。此外，同一小時內航班多為同一家航空公司所營運，航空公司容易取消某些航班而讓空出來時間帶做更有效的利用，因此預期小時內航班市占率與小時內市場 HHI 與取消是正相關。

(3) 航線營運特性：參考過去文獻後，本研究將納入航班飛行距離、班次頻率、航班座位數、載客率作為航空公司考慮的航線營運特性。航空公司可能容易取消距離短之航班，以百英哩計算。同一航空公司相同起訖點航班頻率

高，以及該機場同航段距離下一航班時間越短，推測有其替代航班可安排旅客，航空公司容易取消，預期頻率與取消為正相關，後者為負效用。載客率越高之航班，若取消需要安排或補償之作業成本較高，預期不容易取消。

(4) 樞紐機場：由於航空公司通常有較多航班抵達樞紐機場，若取消該航班，則航空公司可有效利用取消該航班而多出的空時間帶，此外樞紐目的地機場資源緊張，延誤的成本較高，且取消後再調度機組人員與航機也較為容易，預期容易取消。

(5) 航空公司：本研究認為不同航空公司對取消的決策不盡相同，故擬以航空公司虛擬變數表達航空公司之間的差異。

(6) 天氣：本研究擬採用儀表飛行狀態、能見度與風速來探討天氣的惡劣程度對航班取消之影響。預期風速越大，起降航班易受影響，越容易取消。儀表飛行狀態代表在天氣在一定水準以下，若處於儀表飛行狀態，代表天候狀況不佳，預期越容易取消。能見度越低，起降航班易受影響，越容易取消。

(7) 時間：航班取消具有季節性，以月份虛擬變數控制此時間固定效果。

表 3.2 彙整此取消模式預計採納之變數，以及其預期正負號。包含延誤、競爭性、航段營運特性、機場、航空公司、天氣相關變數以及月份，距離、載客率、能見度預期為負數，其他變數預期為正數。

表 3.2 航班取消變數預期正負號

變數類型	變數名稱	預期正負號
延誤與機場交通量	表定航班數量(數量/小時)	+
	t 時平均起飛延誤(分鐘/架)	+
	t 時平均抵達延誤(分鐘/架)	+
	排隊延誤(分鐘/架)	+
競爭性	航段市佔率	+
	航段市場集中度	+
	小時內航班市佔率	+
	小時內航班市場集中度	+
航段營運特性	距離(百英哩)	-
	平均頻率(架次/日)	+
	距離下一航班時間(天)	-
	載客率(%)	-
機場	迄點樞紐機場(虛擬變數)	+
航空公司	航空公司(虛擬變數)	N/A
天氣	能見度	-
	風速	+
	儀表飛行狀態	+
時間	月份(虛擬變數)	N/A

註：-為預期負相關、+為預期正相關、N/A 為無法預期

資料來源：本研究整理

第四章 實證資料蒐集與初步分析

本章將介紹研究數據來源、資料處理方法，以及實證機場篩選之過程。以 2017 年美國國內航班資料進行初步分析，了解航班取消、延誤與機場內競爭情況。

4.1 資料蒐集與計算

4.1.1 資料蒐集

本研究蒐集之資料主要來自美國運輸統計局之資料庫，分別為航空公司準點績效資料庫(Airline On-Time Performance Data)、T-100 資料庫 (T-100 Segment- U.S. Carriers) 以及航空系統績效指標資料庫(Aviation System Performance Metrics, ASPM)，各變數資料與來源對應如表 4.1 所示。

Airline On-Time Performance Data 資料庫可分為兩大部分，一為美國國內主要航空公司每月呈報的國內線直飛航班準點資訊，另一部分於 2018 年啟用，係營運航空公司透過與合作夥伴共用班號，而銷售與營運兩航空公司將同時被記錄。由於後者資料庫尚未完整包含一年，故本研究採用前者並蒐集 2017 年之資料。包含各航班之表定起降時間、實際起降時間、飛行時間、起飛/抵達延誤時間、是否取消、延誤或取消原因、飛行距離等。由於觀察單位為航班，因此以此資料庫做為主要資料來源。

T100(U.S. Carriers Only) 資料庫中根據國內線/國際線以及航段/航線兩大維度共可分為四類，不分國內外的航段與航線的兩類，共六個子資料庫。本研究將使用國內線航段資料庫，其中包含表定/實際起飛架數、航空公司、起迄點、乘客數、座位數、載重、貨物/郵務重量、飛機類型、飛行距離。資料庫是每一月加總值為單位，故使用其變數時將會以月平均做代表。透過此資料庫可獲得承載率、航班頻率、航段市占率等資訊。

ASPM 是記錄美國國內機場營運與天氣狀況之資料庫，包含該機場實際抵達班次、航班各項動作時間、航班取消比例、航班準點率、儀表飛行狀態、目視飛行狀態、起降容量、能見度、風速等資訊，其資料單位最小可至每一小時，藉由此資料庫可得各機場之交通量與供給量等之資訊。

表 4.1 本研究各項資料來源

資料來源	資料層級	本研究使用資料
Airline On-Time Performance Data	每 1 航班	起飛延誤
		抵達延誤
		取消虛擬變數
		飛行距離
		航空公司
		小時內航班市占率
		小時內航班 HHI
		樞紐機場
		時間變數
T-100 Domestic Segment (U.S. Carriers)	月平均或月總計	航段平均乘載率
		航段平均座位數
		航段平均乘客數
		航段表定與實際班次數
		機場之航空公司 HHI
		航段市佔率
Aviation System Performance Metrics (ASPM)	每 1 小時	儀表飛行狀況
		機場交通量
		機場容量
		能見度
		風速

資料來源：本研究整理

4.1.2 資料篩選

本研究範圍為 2017 年美國本土 48 州前往或抵達某一機場之航段資料，因此先刪除資料庫中非美國本土 48 州（阿拉斯加、夏威夷兩州，以及美國海外領土，如：波多黎各等地區），再挑出研究機場，而後對各資料庫所用之變數自訂其他篩選標準，將不合理之資料剔除，留下合理資料進行後續之研究。

在 Airline On-Time Performance Data 資料庫刪除航空公司為遺漏值之觀察值。由於研究主要將探討機場之航空公司競爭對航班延誤與取消造成的影響，故因航

班取消導致的起降時間與延誤時間的缺漏資料須予以保留。

T-100 Domestic Segment (U.S. Carrier) 資料庫在下载時資料先排除機型相關變數，使資料庫之每一筆單位為航段-月資料。刪除航空公司為遺漏值之觀察值，刪除航程距離小於 50 英里，座位數、乘客數為 0 之觀察單位，並以每月乘客總數除以每月座位數計算出各航段之承載率(Load Factor)，刪除承載率大於 1 之不合理資料。

ASPM 資料庫則是分別下載研究機場範圍內之資料，將能見度、風速、容量為遺漏值的資料刪除，而後進一步計算各項指標。

4.1.3 資料計算

(一) 航班取消、機場表定起降航班數

此項變數由 Airline On-Time Performance Data 資料庫直接取得，此項為 0 或 1 之虛擬變數。此取消模型之研究將使用每一航班為單位進行探討。所有航班不分航空公司不分起迄點，以起飛時間或抵達時間在同一小時進行加總，得各小時的之表定起降航班數。

(二) 起飛延誤與抵達延誤

此兩項變數均可由 Airline On-Time Performance Data 資料庫直接取得，此項數值可能為正亦可能為負值，正值代表發生航班延誤之情形，若為負值則表示航班比表定時間提早抵達。此延誤模型預計將負值以 0 紀錄，得每小時每航班平均起飛延誤與抵達延誤分鐘數。

(三) 航段平均座位數、航段平均乘客數、航段平均承載率

此類變數由 T-100 Domestic Segment (U.S. Carrier) 資料庫中可得每月份各航空公司各航段之乘客總數與座位總數，透過除以該月份航空公司-航段的實際起飛航班數量後，即得平均每一航班之乘客數與座位數，再將計算後之平均乘客數除以平均座位數，可得每一航段平均承載率。

(四) 航段頻率、距離下一航班時間

此項變數可由 T-100 Domestic Segment (U.S. Carrier) 以及 ASPM 資料庫中獲得該月份航段表定與實際飛行之班次數量，由於本研究以機場微觀營運角度，故將此資料除以當月天數，求出航段平均頻率。透過 Airline On-Time Performance Data 資料庫的每一航班資料，不論航空公司，以同一起迄點(航段)並依起飛時間排序，則可計算下一航班與該航班之時間差。

(五)航段距離

此項變數可由 Airline On-Time Performance Data 資料庫直接取得起迄機場間距離。

(六)航段市佔率、航段 HHI、小時內航班市佔率、小時內航班 HHI

由於本研究是機場營運角度，故以航班數作為計算基礎，由 T-100 Domestic Segment (U.S. Carrier) 中每月各航段之各航空公司航班數除以營運該航段的總班次量，以此做為每家航空公司航段之市佔率，再將各家市佔率的平方加總而得出該航段之赫氏指數，即該航段 HHI；機場內競爭變數需透過 Airline On-Time Performance Data 資料庫，加總每小時同航空公司之航班數，除以該時段總航班數，即得小時內航班市佔率，在以上述相同方式計算可得小時內航班 HHI。

(七)排隊起飛延誤、排隊抵達延誤

此變數須建立累積航班需求曲線與實際可服務航班曲線(如圖 3.2)。累積需求曲線可透過資料庫中，累積加總各小時表定起降航班數並減去已取消之航班數。機場的可服務航班曲線可由 ASPM 資料庫中獲得每小時之機場可接受率(起飛容量與抵達容量)，兩條曲線垂直相減可獲得排隊航班數，水平相減可獲得等候延誤(分鐘)。計算每一小時需求曲線與抵達曲線之所繪出之平行四邊形或三角形之面積，可得平均排隊延誤。

4.2 研究機場之選擇

4.2.1 篩選原則

在 3.1 章節已詳述同一機場航班延誤與取消之均衡架構，而本研究為了探討競爭環境下均衡變化，將選取市場競爭程度集中在少數三至四家航空公司且市佔率相近之機場，進行均衡之驗證。本研究將透過計算機場內的航空公司之競爭程度，挑選最具有代表性之機場。

本研究擬定挑選適合研究之機場三大考量，首先是機場內的航空公司市佔率，其次為該機場營運狀況，如準點率與取消率，最後在考量該機場之特性，如國內外航班比例等。

4.2.2 篩選過程

關於衡量機場的航空公司市場競爭狀況，過去文獻常以 Herfindahl-Hirschman Index (HHI) 衡量市場集中度，本研究將以此概念衡量機場內的航空公司營運狀況的集中度，其中計算市佔率方式分為兩大類：航空公司於該機場起降的航班數 (Rupp, 2009; Bilotkach and Lakew, 2014) 以及航空公司於該機場起降的航班座位數 (Hao and Hansen, 2014)。而由於研究角度以機場營運觀點，故採用航班數量計算航空公司市佔率與 HHI 之方式。

本研究以 ASPM 資料庫中的美國前 30 大機場為挑選範圍，計算 30 大機場內航空公司市佔率與機場 HHI，如下表 4.2，在 HHI 約 0.2 至 0.25(4 至 5 家有效競爭家數) 之範圍內之機場中，挑選競爭情況最符合目標之機場。由圖 4.1 之各機場內航空公司市佔率可看出，某些機場內航空公司組成部分仍偏向第一大家航空公司遠大於其他家，如拉斯維加斯麥卡倫機場(LAS)、聖地牙哥機場(SAN)等、也有偏向雙佔之機場，如鳳凰城機場(PHX)。市占率分布與有效競爭家數較為一致的機場，僅芝加哥歐海爾機場(ORD)、紐約甘迺迪機場(JFK)以及休士頓喬治布希機場(IAH)。

表 4.2 美國前 30 大機場航空公司集中度(航班數)

機場代號	HHI	機場代號	HHI	機場代號	HHI
MEM	0.093	DTW	0.173	LAS	0.237
DCA	0.115	EWR	0.179	PHX	0.238
LAX	0.117	SFO	0.179	SLC	0.295
LGA	0.120	IAD	0.180	DFW	0.302
BOS	0.155	TPA	0.205	CLT	0.306
PHL	0.161	MSP	0.207	MIA	0.360
SEA	0.162	SAN	0.214	ATL	0.411
DEN	0.165	IAH	0.216	BWI	0.441
MCO	0.165	JFK	0.218	MDW	0.857
FLL	0.166	ORD	0.231	HNL	

資料來源：本研究整理

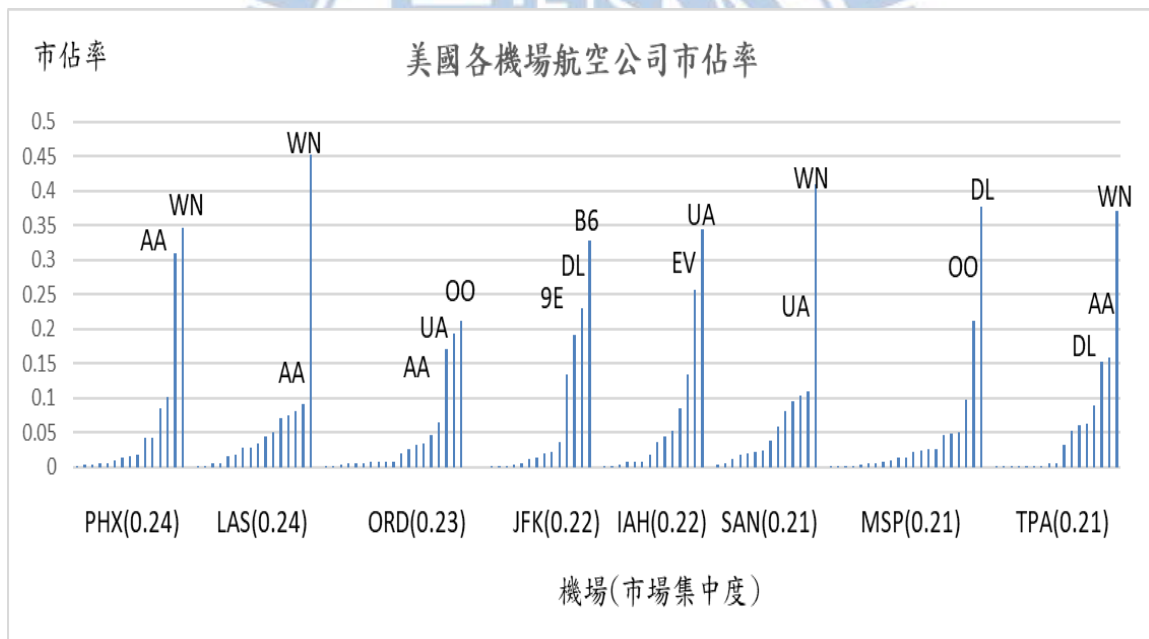


圖 4.1 美國各機場內航空公司市佔率(航班數)

資料來源：本研究整理

本研究為著重考量客機部分，以乘客數再次進行市佔率之計算，將以航班數與乘客數分別計算之各機場航空公司市佔率分布並進行比較，如圖 4.2 所示，為了容易比較，圖 4.2 中僅留下市占率前四大之航空公司。少數機場航班市占率與乘客式佔率之分布有明顯差距，如：休士頓機場，原本各公司航班數市佔率差異

不大，但乘客數市佔率趨向獨佔，由此可推測，機場第二大航空公司可能是以多架機型小之航班進行營運，才發生航班數量與第一大航空公司接近，但乘客數差距明顯，因此休士頓機場排除篩選外。

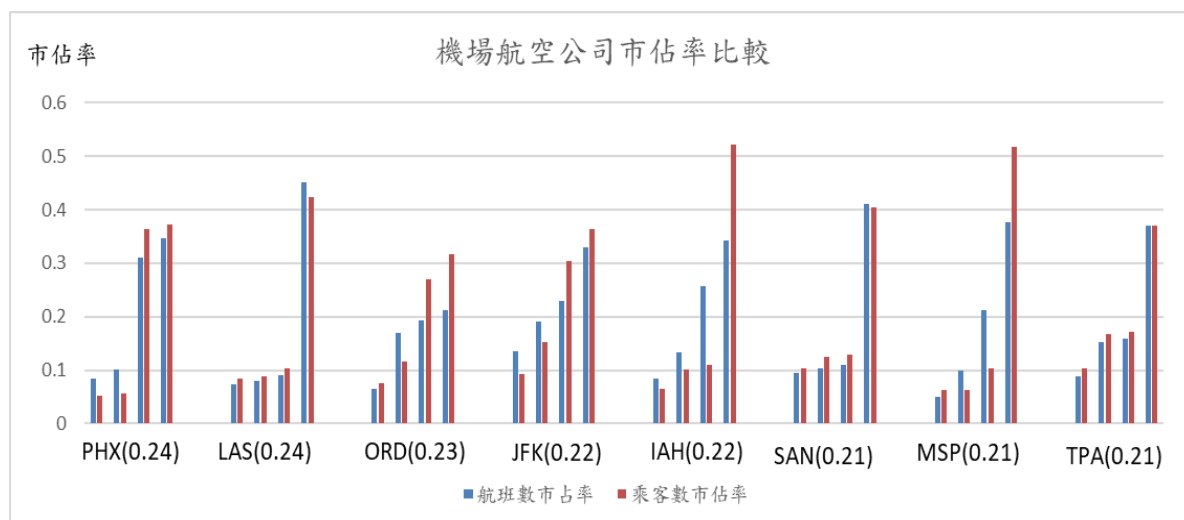


圖 4.2 美國各機場內航空公司市佔率比較

資料來源：本研究整理

為突顯並改善延誤嚴重、取消率高的機場營運狀況，故本研究就此標準進一步篩選，透過 ASPM 與 ASQP 資料庫，彙整各機場之準點率、延誤與取消率狀況如表 4.3。根據上述篩選結果結合表 4.3，發現紐約甘迺迪機場與芝加哥歐海爾機場的較符合標準，而紐約甘迺迪機場的機場營運績效較差，看似較為符合，但是其表定航班數量較低，推測是國內外航班之差異。因此在 BTS 資料庫中蒐集兩機場的國內線與國際線、乘客數與航班數之資料進行比較，如表 4.4，發現不論是以航班數或乘客數而言，歐海爾機場的國內比例皆較高。

本研究是以機場營運之角度，故以航班數市佔率為主、乘客數市佔率為輔，並參考各機場營運狀況，如：準點率、延誤以及取消率。綜合評估後，由於芝加哥歐海爾國際機場(ORD)航班數與乘客數之市佔率分布較為接近，且國內航班數比例較高，故本研究選取作為實證研究之代表機場。

表 4.3 機場準點率、延誤與取消率

機場	表定起飛航班數	表定抵達航班數	登機門起飛準點率(%)	登機門抵達準點率(%)	平均登機門起飛延誤(分鐘)	平均登機門抵達延誤(分鐘)	起飛取消率(%)	抵達取消率(%)
IAH	215,392	215,218	84.84	86.15	11.13	10.6	2.73	2.79
JFK	217,062	216,068	77.4	74.73	18.24	21.98	2.20	2.32
LAS	174,557	174,570	78.59	80.85	13.18	11.48	0.90	0.86
MSP	188,044	187,968	86.52	86.81	10.03	10.62	0.57	0.60
ORD	422,173	420,574	80.85	82.23	14.2	14.7	1.40	1.47
PHX	186,777	186,736	83.64	83.74	9.68	9.75	0.56	0.73
SAN	92,624	92,628	82.75	81.22	11.07	10.95	1.19	1.05
TPA	79,075	79,092	81.99	81.23	12.61	12.24	1.90	1.87

資料來源：ASPM 資料庫與 ASQP 資料庫(2017)

表 4.4 甘迺迪機場與歐海爾機場國內外航班營運比較

	紐約甘迺迪機場		芝加哥歐海爾機場	
	乘客數(人)	航班數(架)	乘客數(人)	航班數(架)
國內航班	13,431,250	124,063	32,189,028	368,925
國際航班	16,058,590	86,086	6,387,886	43,604
總計	29,489,840	210,149	38,576,914	412,529
國內比例(%)	45.55	59.04	83.44	89.43

資料來源：BTS(2017)

4.3 整體資料分析

本研究以芝加哥歐海爾國際機場(ORD)進行實證研究探討取消與延誤情形，因此本部分首先將針對 2017 年的航班數量作為市佔率，了解該機場的航空公司組成與競爭情況，再了解各航空公司每月份延誤與取消績效變化趨勢。

歐海爾國際機場在經過篩選與合併後的資料中，主要由十家航空公司負責營運，以營運之航班數計算如圖 4.3，西南航空(OO)之市佔率為 30%、聯合航空(UA)27%、美國航空(AA)24%、快捷航空(EV)9%，前四大航空公司營運班次數佔整體機場的 90%以上，故後續分析就此四家航空公司建立模式。

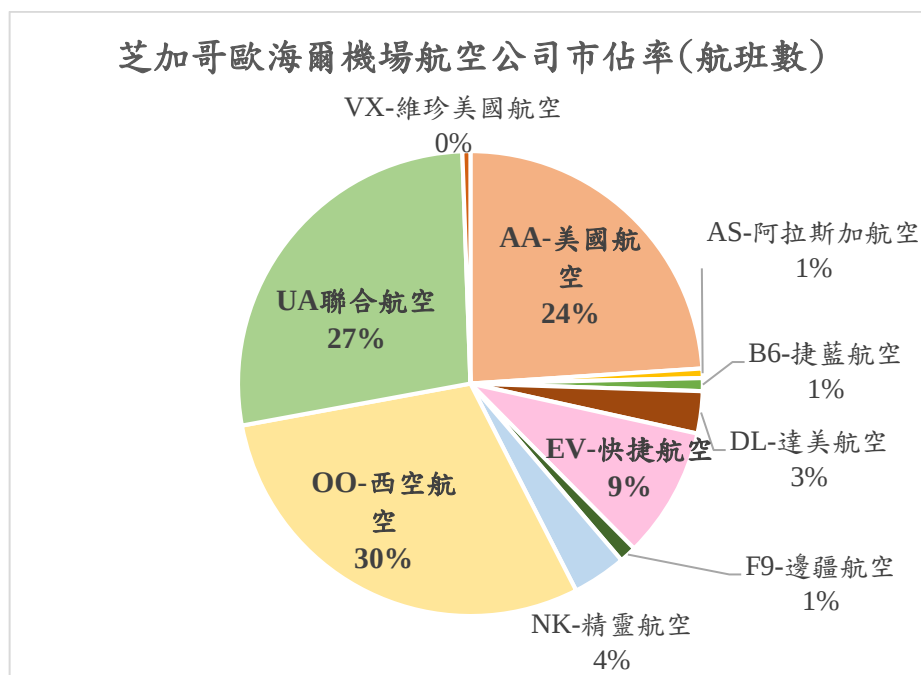


圖 4.3 芝加哥歐海爾國際機場各航空公司市佔率

資料來源：本研究整理

圖 4.4 是歐海爾國際機場每月航班起降準點率，由整體來看機場準點率在約在 55%至 75%，相差 20%，機場在六至八月、十二至一月以及三月的準點率較差，皆在 65%以下，由此可知，航班延誤情況嚴重且具有季節性，於夏季與冬季尤為明顯。而抵達準點率與起飛準點率趨勢非常接近，無明顯差別。若將 15 分鐘內起飛或抵達算為準點，則仍有約 13%-30%的航班延誤超過 15 分鐘，起飛與抵達準點率趨勢更為相近，但起飛準點率在各月份皆略低於抵達準點率。

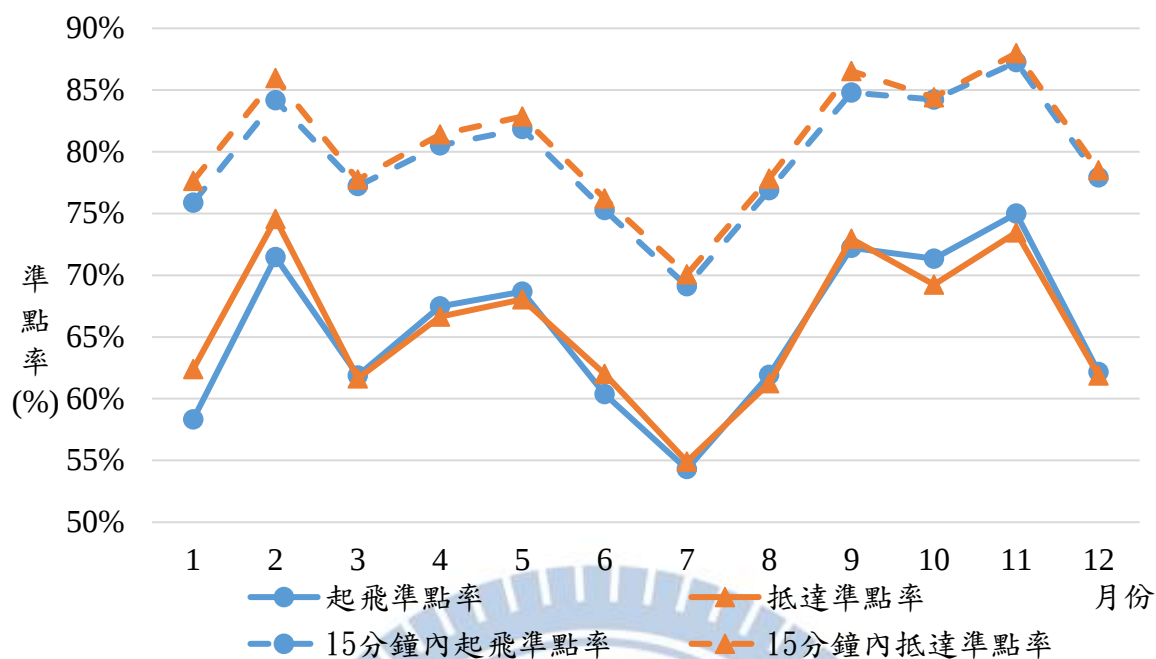


圖 4.4 芝加哥歐海爾國際機場每月航班起降準點率

資料來源：本研究整理

各航空公司間的準點率趨勢可由圖 4.5 看出，相對於機場整體準點率而言，西空航空與美國航空的準點率較機場整體差，而快捷航空與聯合航空準點率較佳。以同一月分來看，在準點率較差的七月，航空公司準點率相差了約 15%(65%-50%)，而航空公司在二月的準點率相差不到 3%，變異性極大。

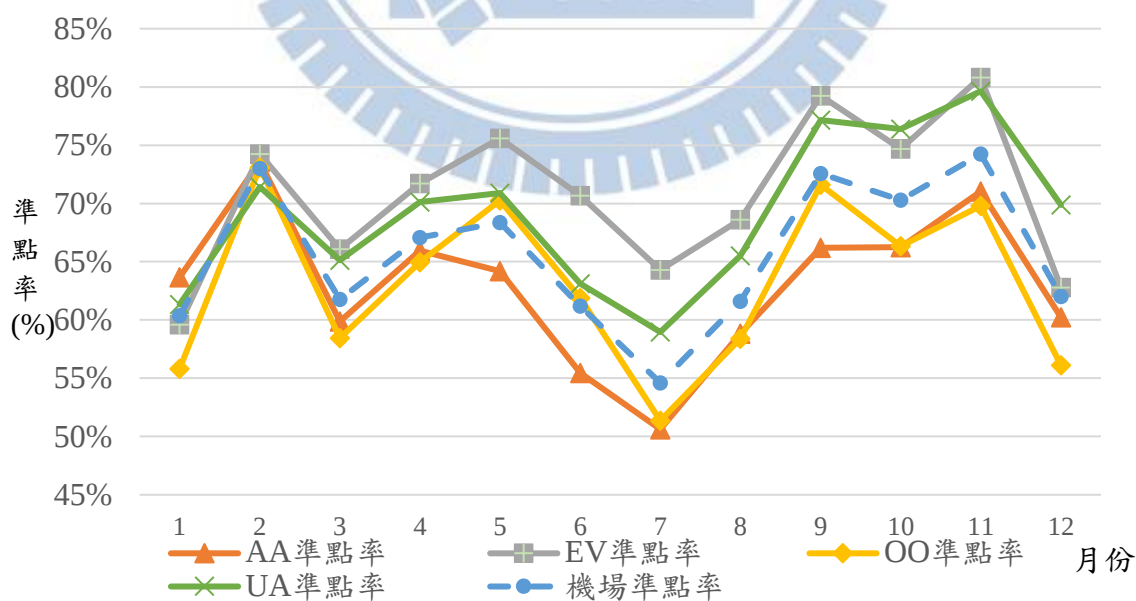


圖 4.5 芝加哥歐海爾國際機場各航空公司每月航班起降準點率

資料來源：本研究整理

由圖 4.6 了解歐海爾國際機場平均每月起降延誤時間變化，平均起飛延誤時間介於 11-19 分鐘，平均抵達延誤時間介於 7-22 分鐘，兩機場的平均延誤時間在六至八月與十二月至一月皆為高峰，為暑假與冬季，具有季節性。起飛延誤與抵達延誤曲線趨勢相近，但可看出抵達延誤時間變異性更大，起飛延誤時間的曲線除了在夏天外，其他月份略高於抵達延誤時間曲線。

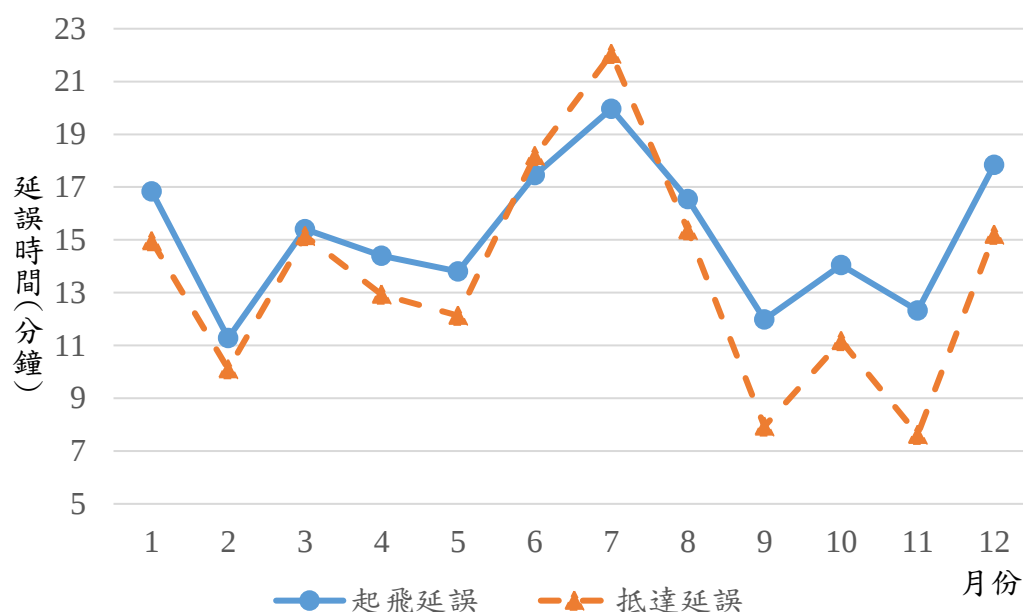


圖 4.6 芝加哥歐海爾國際機場平均每月起降延誤時間

資料來源：本研究整理

圖 4.7 是歐海爾國際機場每月機場起降整體與各航空公司取消率，機場整體取消率於七月與三月有高峰，最高峰為 2.5%，最低為 0.3%。然而各航空公司的每月取消率差異變異較大，尤其在機場整體取消率較高的時候，航空公司間取消率差異大，在三月份各航空公司間取消率相差約 3.5%(4.5%-1%)，整體取消率較低的時候，航空公司間差小，在 11 月份航空公司間取消率僅相差約 0.5%(0.5%-0.01%)。西空航空取消率在各月份皆高於整體平均，聯合航空取消率則皆低於整體平均。

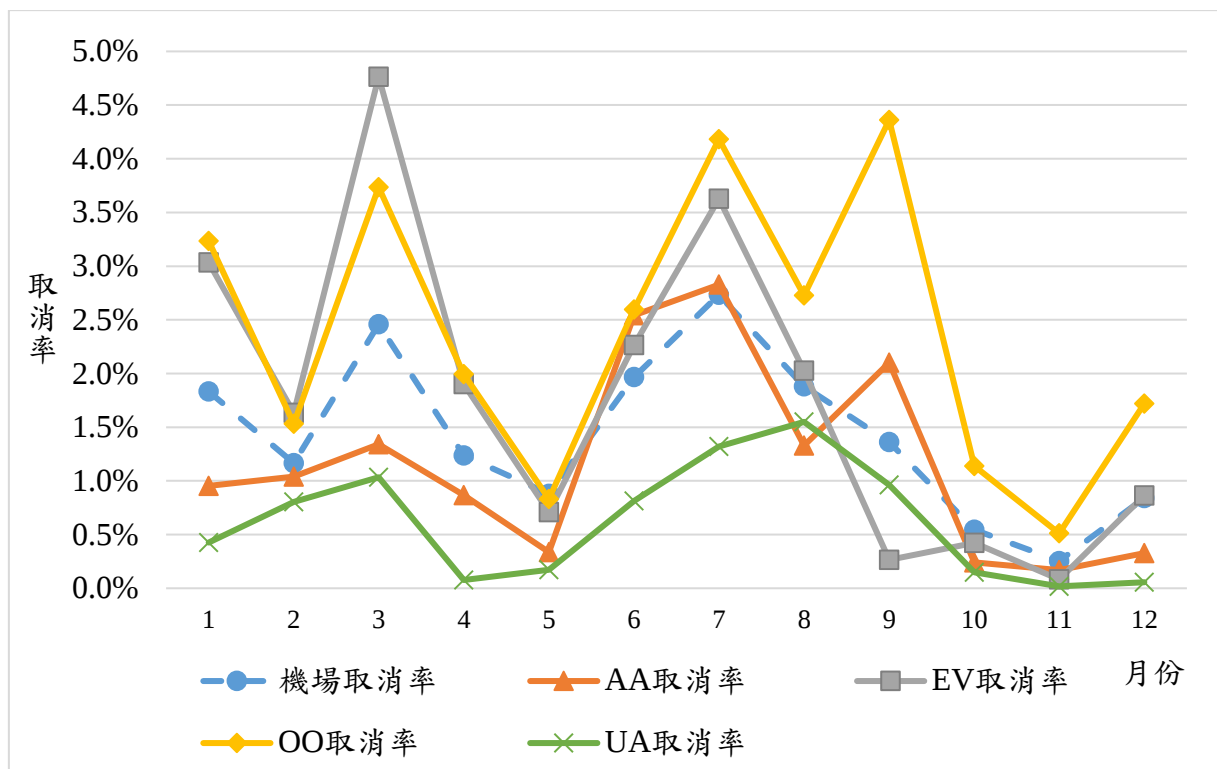


圖 4.7 芝加哥歐海爾國際機場每月航班起降取消率

資料來源：本研究整理

綜合以上圖表可以看出，航班延誤與取消皆具有季節性，集中於夏季與冬季。起飛的航班較不容易準點，且平均延誤時間較抵達長。航空公司間在不同月分的準點、延誤與取消率等績效差異變異大。

第五章 實證模式與均衡分析

本章將利用 AOTP、T100 與 ASPM 的相關資料，藉由迴歸分析校估延誤模式，異質性普羅比模式校估航班取消模式，並結合兩模式之互動得出航班取消的均衡結果，並以均衡模式進行情境模擬。

5.1 基本統計

本研究範圍的芝加哥歐海爾國際機場 2017 年統計資料狀況如表 5.1 所示。歐海爾國際機場表定起降航班數平均約每小時 74 架，納入負數的起飛延誤與抵達延誤分別約每架 11 與 7 分鐘，而本研究則是將延誤負數視為 0，起飛與抵達延誤約每架 14 分鐘。

表 5.1 芝加哥歐海爾機場敘述性統計

變數名稱	最小值	最大值	平均	標準差.
取消	0	1	0.014	0.118
表定起飛航班量(架/時)	1.0	113	74.53	19.43
表定抵達航班量(架/時)	2.0	108	67.76	19.31
起飛延誤(分鐘)	-43	1212	11.38	45.87
起飛延誤(負數為 0)	0.0	1212	14.40	44.79
抵達延誤(分鐘)	-71	1224	6.80	48.35
抵達延誤(負數為 0)	0	1224	15.04	44.78
平均 t 時起飛延誤(分鐘/架)	0	275	14.99	18.78
平均 t 時抵達延誤(分鐘/架)	0	345	15.52	22.82
t-1 時平均延誤(分鐘/架)	0	275	14.37	18.57
t-2 時平均延誤(分鐘/架)	0	275	13.78	18.38
起飛排隊延誤(分鐘/架)	0	616.63	0.888	12.43
抵達排隊延誤(分鐘/架)	0	460.32	1.559	13.62
航段市佔率	0.014	1	0.44	0.25
航段市場集中度	0.154	1	0.43	0.20
航段有效競爭家數	1.0	6.493	2.73	1.01
小時航班市佔率	0.01	1	0.27	0.13
小時航班市場集中度	0.14	1	0.27	0.05
小時航班有效競爭家數	1	7.043	3.83	0.52
距離(英哩)	67	1846	774.3	499.86
平均載客率	0.07	1	0.81	0.11
平均頻率(架/天)	0.03	15.32	4.73	3.33
側風風速(節)	0	38	10.83	5.28

變數名稱	最小值	最大值	平均	標準差.
下一航班時間差(分鐘)	0	8655	269.67	355.88
能見度(英哩)	0	10	9.18	2.14
儀表飛行狀態	0	1	0.34	0.47
起點樞紐機場	0	1	0.51	0.49
迄點樞紐機場	0	1	0.52	0.50
美國航空	0	1	0.24	0.43
阿拉斯加航空	0	1	0.01	0.08
捷藍航空	0	1	0.01	0.09
達美航空	0	1	0.03	0.17
快捷航空	0	1	0.09	0.29
邊疆航空	0	1	0.01	0.11
精靈航空	0	1	0.04	0.19
西空航空	0	1	0.30	0.46
聯合航空	0	1	0.27	0.45
維珍美國航空	0	1	0.01	0.07

資料來源：本研究整理

5.2 延誤模式校估結果

5.2.1 起飛延誤模式

本研究最初使用 OLS 方法校估模式，因發現異質變異數與序列相關問題，故採用 AR、HET、ARCH 與 GARCH 等模式以同時處理上述兩問題，起飛延誤模式校估結果如表 5.2。AR1、AR2 顯著代表 t 時的延誤誤差項與前一小時與前兩小時影響；HET 顯著代表表定起降航班數與起飛排隊延誤兩變數與延誤的異質變異有關，延誤之變異數並非固定，會隨排隊延誤與表定航班數而定；ARCH1、ARCH2、GARCH1 與 GARCH2 顯著代表殘差項自我相關且誤差項的變異數與該兩變數有相關，推翻原本 OLS 的無序列相關且變異相同的假設，故本研究建議採用 GARCH 模式。OLS 與 GARCH 模式相比可發現，考量起飛排隊延誤可能有非線性變化，加入平方項且結果顯著。以下分析將以 GARCH 模式進行解釋。

表 5.2 起飛延誤模式校估結果

類型	變數(單位)	OLS 模型		GARCH 模式	
		參數值	標準誤	參數值	標準誤
流量與延誤	起飛排隊延誤(分鐘/架)	0.1491***	0.0106	0.4534***	0.0289
	起飛排隊延誤平方	-	-	-0.0007***	0.0001
	表定起降航班量(架)	0.9620***	0.0100	0.1062***	0.0156
天氣與流量交叉相乘項	表定起降航班量 *儀表飛行狀態	0.0270***	0.0047	0.0284***	0.0043
	表定起降航班量 *能見度(架·英哩)	-0.0896***	0.0015	-0.0093***	0.0007
	表定起降航班量 *側風風速(架·節)	0.0024***	0.0004	0.0024***	0.0003
常數		7.6792***	0.9550	7.5844***	1.2270
HET	起飛排隊延誤	-	-	0.0048***	0.0002
	表定起降航班量	-	-	0.0005**	0.0002
	常數	-	-	3.4314***	0.0660
ARMA	AR1	-	-	0.0532***	0.0187
	AR2	-	-	0.0708***	0.0163
ARCH GARCH	ARCH1	-	-	0.0165***	0.0010
	ARCH2	-	-	0.0148***	0.0010
	GARCH1	-	-	-0.0631***	0.0038
	GARCH2	-	-	0.9294***	0.0007
樣本數		6264			

註1：Standard errors in parentheses

註2：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

註3：兩個模式均包含月份虛擬變數

資料來源：本研究整理

起飛延誤模式結果顯示，排隊延誤增加則起飛延誤會增加，由平方項結果可知邊際效果遞減，代表當起飛排隊延誤增加，對起飛延誤的邊際漸弱，推測可能因為當抵達排隊非常嚴重時，航空公司取消在起飛機場的航班以避免嚴重的延誤。由於天氣狀況對起飛延誤的影響可能與流量多寡相關，故將兩類變數交叉相乘，故表定起降航班數對起飛延誤之真正影響須將交叉相乘項一同考慮，其結果顯著，代表在相同天氣情況下且能見度在合理範圍內，表定起降航班數增加一台，起飛

延誤會增加。

而校估結果顯示天氣相關交叉相乘項顯著，代表天氣與起降航班數有加乘效果，即航班數越多，則天氣對延誤的影響越大。在天氣變數方面，側風風速越大或處於儀表飛行狀態下，起飛延誤也顯著地隨之增加，當表定航班數不變下，若處於儀表飛行狀態下則延誤會增加「 $0.0284 \times \text{航班數}$ 」分鐘，風速增加 1 節則起飛延誤增加「 $0.0024 \times \text{航班數}$ 」分鐘；能見度校估結果呈負號且顯著，代表能見度越低，起飛延誤會越嚴重，能見度每增加 1 英哩則起飛延誤減少「 $0.0093 \times \text{航班數}$ 」分鐘。

5.2.2 抵達延誤模式

抵達延誤模式校估結果如表 5.3，本研究最初使用 OLS 方法校估模式，因發現異質變異數與序列相關問題，故採用 AR、HET、ARCH 與 GARCH 等模式以同時處理上述兩問題。AR1、AR2 顯著代表 t 時的延誤誤差項與前一小時與前兩小時影響；HET 顯著代表表定起降航班數與抵達排隊延誤兩變數與延誤的異質變異有關，延誤之變異數並非固定，會隨排隊延誤與表定航班數而定；ARCH1、ARCH2、GARCH1 與 GARCH2 顯著代表殘差項自我相關且誤差項的變異數與該兩變數有相關，推翻原本 OLS 的無序列相關且變異相同的假設，故本研究建議採用 GARCH 模式。OLS 與 GARCH 模式相比可發現，考量抵達排隊延誤可能有非線性變化，加入平方項且結果顯著。以下分析將以 GARCH 模式進行解釋。

抵達排隊延誤對抵達延誤具有正向顯著之結果，其平方項結果也為正數，表示當抵達排隊延誤增加，對抵達延誤的影響邊際漸增，其原因可能是當抵達排隊非常嚴重時，部分抵達航班無法及時預測目的地機場狀況，而無法提前取消航班，航行中的抵達航班必須降落，故對延誤影響更加嚴重。由於天氣狀況對抵達延誤的影響可能與流量多寡相關，故將兩類變數交叉相乘，故表定起降航班數對抵達延誤之真正影響須將交叉相乘項一同考慮，其結果顯著，代表在相同天氣情況下且能見度在合理範圍內，表定起降航班數增加一台，抵達延誤會增加。

而校估結果顯示天氣相關交叉相乘項顯著，代表天氣與起降航班數有加乘效果，即航班數越多，則天氣對抵達延誤的影響越大。在天氣變數方面，側風風速越大或處於儀表飛行狀態下，對航班起降影響越大，抵達延誤也容易會隨之增加，在校估模式中皆呈正號且顯著，當表定航班數不變下，若處於儀表飛行狀態下則

抵達延誤會增加「 $0.0097 \times \text{航班數}$ 」分鐘；風速增加 1 節則抵達延誤增加「 $0.0004 \times \text{航班數}$ 」分鐘。能見度校估模式與預期相符，呈負號且顯著，代表能見度越低，抵達延誤越嚴重，能見度每增加 1 英哩則抵達延誤減少「 $0.0033 \times \text{航班數}$ 」分鐘。

表 5.3 抵達延誤模式校估結果

類型	變數(單位)	OLS 模型		GARCH 模式	
		參數值	標準誤	參數值	標準誤
流量與延誤	抵達排隊延誤(分鐘/架)	1.3864***	0.1100	0.7174***	0.0343
	抵達排隊延誤平方	-	-	0.0022***	0.0003
	表定起降航班量(架)	0.0652***	0.0157	0.0356***	0.0060
天氣與流量交叉相乘項	表定起降航班量 *儀表飛行狀態	0.0360***	0.0053	0.0097***	0.0022
	表定起降航班量 *能見度(架·英哩)	-0.0059***	0.0011	-0.0033***	0.0005
	表定起降航班量 *側風風速(架·節)	0.0015***	0.0004	0.0004*	0.0002
常數		9.5373***	0.9900	11.3004***	0.9600
HET	抵達排隊延誤	-	-	0.0451***	0.0009
	表定起降航班量	-	-	-0.0056***	0.0002
	常數	-	-	4.8034***	0.0298
ARMA	AR1	-	-	0.3933***	0.0123
	AR2	-	-	0.2144***	0.0099
ARCH GARCH	ARCH1	-	-	0.3654***	0.0133
	ARCH2	-	-	0.1443***	0.0085
	GARCH1	-	-	-0.0001***	0.0000
	GARCH2	-	-	-0.0001**	0.0000
樣本數		6264			

註1：Standard errors in parentheses

註2：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

註3：兩個模式均包含月份虛擬變數

資料來源：本研究整理

整體而言，起飛與抵達的延誤模式結果相似，但排隊延誤變數分開計算，使各自的延誤預測更為準確；另外，由於起降航班共用機場容量，起飛與抵達延誤

皆會受到總航班數之影響。若比較起飛與抵達延誤模式係數，可得知排隊延誤對於抵達延誤的影響較大，且邊際效果遞增，推測是因為起飛航班可視排隊延誤情況而取消航班，但部分抵達航班無法；天氣相關變數對起飛延誤比抵達延誤影響更大，推測因天候惡劣時抵達航班比起飛航班會優先使用空側與陸側資源，起飛航班需等候而使起飛延誤更加嚴重。

5.3 取消模式校估結果

5.3.1 校估結果與比較

本研究將原本取消模型考量之變數(表 3.2)進行校估後，刪除部分不顯著之變數，如表定航班數量與其他競爭性變數，同時以交叉相乘項考量自變數間的相互作用，得出最終模式，之後分別以羅吉特模式、普羅比模式、以及異質性普羅比模式進行比較，校估結果比較如表 5.4。異質性普羅比模式校估結果發現排隊起飛延誤與 t 時起飛延誤對取消的殘差變異數具有異質性，證實殘差變異數固定的假設被推翻。比較三種模式發現，起飛排隊延誤在羅吉特與普羅比模式中不顯著，僅在異質性普羅比模式中顯著。部分與排隊延誤交叉相乘項的變數雖然不顯著，但需與主變數一起考慮方能知其效果顯著性。以下分析將以異質性普羅比模式之結果進行討論。

關於延誤相關變數，起飛排隊延誤對航班取消之影響需同時將三種交叉相乘項納入考慮，分別是：航空公司、航段 HHI 以及小時航班市占率，透過邊際效果檢測得知起飛排隊延誤對起飛航班取消是正向且顯著，亦即在其他變數不變下，起飛排隊延誤越嚴重越容易取消航班。 t 時平均起飛延誤與 t 時平均抵達延誤越高，越容易取消航班，校估係數來看，抵達延誤對取消的影響相對於起飛延誤更大，推測原因是抵達航班縱然延誤嚴重，但仍需要降落，因此需給予空側與陸側資源的優先使用權，並壓縮到其他已排定之航班跑道使用時間，進而影響到航班起飛狀況，嚴重的延誤可能使航空公司取消航班。

由航空公司與起飛排隊延誤的交叉相乘項校估後係數結果，可以了解航空公司對排隊延誤而取消航班的反應，快捷航空以及西空航空分別與排隊延誤的交叉相乘項結果為正且顯著，表示當排隊延誤增加時，相較於其他航空公司會更容易取消航班，而美國航空與聯合航空的交叉相乘項係數雖為正數但不顯著，表示相較於其他航空公司，排隊延誤高低對兩家航空公司是否取消航班並無顯著影響。

表 5.4 起飛航班取消模式校估模式比較

類型	變數(單位)	羅吉特模式		普羅比模式		異質性普羅比	
		參數值	標準誤	參數值	標準誤	參數值	標準誤
延誤與機場交通量	起飛排隊延誤(分鐘/架)	0.0018	0.0018	0.0012	0.0010	0.0045**	0.0014
	起飛排隊延誤*美國航空	0.0024	0.0026	0.0010	0.0013	0.0065	0.0126
	起飛排隊延誤*快捷航空	0.0101**	0.0032	0.0059**	0.0016	0.0749**	0.0169
	起飛排隊延誤*西空航空	0.0122**	0.0033	0.0065**	0.0017	0.0639**	0.0157
	起飛排隊延誤*聯合航空	0.0047*	0.0026	0.0020	0.0013	0.0019	0.0122
	起飛排隊延誤 *航段 HHI	-0.0092	0.0088	-0.0040	0.0042	-0.0029	0.0102
	起飛排隊延誤 *小時航班市佔率	0.0001	0.0038	-0.0005	0.0021	0.0259	0.0261
	t 時起飛延誤(分鐘/架)	0.0119**	0.0011	0.0061**	0.0005	0.0017*	0.0009
	t 時抵達延誤(分鐘/架)	0.0143**	0.0009	0.0071**	0.0004	0.0099**	0.0005
競爭	小時航班市佔率(0~1)	0.9844**	0.2141	0.331**	0.0854	0.3035**	0.1020
	航段 HHI (0~1)	0.4481**	0.0889	0.206**	0.0367	0.2597**	0.0421
航段營運	距離下一航班時間(天)	-0.2638**	0.0078	-0.0957**	0.0325	-0.0579**	0.0295
	平均乘載率(0~1)	-0.4932*	0.1970	-0.255**	0.0794	-0.3914**	0.0894
	平均頻率(架/天)	0.02961**	0.0082	0.0113**	0.0032	0.0129**	0.0037
	距離(百英哩)	-0.0597**	0.0056	-0.0221**	0.0021	-0.0207**	0.0024
機場	迄點樞紐機場(虛擬變數)	0.4573**	0.0631	0.215**	0.0251	0.2911**	0.0297
天氣	儀表飛行狀態(虛擬變數)	0.2343**	0.0485	0.0859**	0.0193	0.0952***	0.0209
	能見度(英哩)	-0.0290**	0.0084	-0.0094**	0.0035	-0.0142***	0.0034

類型	變數(單位)	羅吉特模式		普羅比模式		異質性普羅比	
		參數值	標準誤	參數值	標準誤	參數值	標準誤
	風速(節)	0.0298**	0.0034	0.0104**	0.0014	0.0089***	0.0017
航空公司	美國航空(虛擬變數)	-0.6311**	0.0947	-0.258**	0.0367	-0.2863**	0.0421
	快捷航空(虛擬變數)	-0.2101*	0.0974	-0.109**	0.0387	-0.1293**	0.0448
	西空航空(虛擬變數)	-0.3522**	0.1001	-0.163**	0.0396	-0.2070**	0.0464
	聯合航空(虛擬變數)	-1.4334**	0.1060	-0.565**	0.0407	-0.6117**	0.0477
常數	常數	-4.2750**	0.1904	-2.216**	0.0758	-2.2803**	0.0851
H E T	起飛排隊延誤	-	-	-	-	0.0120**	0.0017
	t 時平均起飛延誤	-	-	-	-	0.0046**	0.0004
樣本數		247418					

註1：Standard errors in parentheses

註2：* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

註3：三個模式均包含月份虛擬變數

資料來源：本研究整理

以競爭性而言，航段 HHI 在校估結果中呈現正號且顯著，與排隊延誤的交叉相乘項呈現負號不顯著；小時航班市佔率變數對取消影響是正向且顯著，與排隊延誤之交叉相乘項對則是正號不顯著；兩種競爭性變數皆為主變數正相關且顯著但交叉相乘項不顯著，經由邊際效果檢測得知，僅在部分起飛排隊延誤範圍下兩種競爭性變數才是顯著，在 5.3.2.節進一步討論。

關於航段營運特性之變數，僅頻率校估結果為正向且顯著，表示該航段頻率越高，若取消該航班，航空公司容易替旅客找到下一航班，故取消可能性高。航段平均載客率、距離下一航班時間、距離三個變數在校估結果中為負數且顯著，代表承載率越高之航班，取消需要安排或補償之作業成本較高，故航空公司越不容易取消該航班；航程距離越遠，航空公司越不容易取消航班；航空公司決策航班取消時，與下一航班時間差越遠，越不容易取消，由於此變數與頻率變數不同之處在於，航空公司在決策取消不考慮最近的下一班次是否為同一航空公司，故

此結果也可推測航空公司對於被取消航班的旅客航班安排有與其他航空公司簽署相關合作協議。

在天氣因素方面，校估結果為正號且顯著的有風速與儀表飛行狀態，代表風速越大，影響航班起飛，越容易取消航班；當天氣處於儀表飛行狀態時，代表該機場天氣不利於目視航班起降，故取消航班可能增加。能見度的校估結果呈現負向且顯著，代表能見度越低，越可能取消航班。

在機場方面，迄點樞紐機場對取消影響是正向且顯著，代表相較於迄點機場是非樞紐機場者，迄點機場屬於樞紐機場的航班較容易被取消，可能是因為飛至樞紐機場的登機門等資源較競爭，若不取消航班而產生延誤，對航空公司而言成本可能較高。以航空公司而言，首先以虛擬變數校估結果比較歐海爾機場前四大航空公司各自的取消行為，四家航空公司的校估結果皆為負數且顯著，根據其係數大小可得知，相對於其他家航空公司而言，前四大航空公司均較不易取消航班，且最不容易取消依序是聯合航空、美國航空、西空航空與快捷航空。

5.3.2 取消模式邊際效果

由於羅吉特模式與普羅比模式之係數無法直接看出對取消的影響確切大小，因此透過計算邊際效果(如表 5.5)，探求當所有其他變數固定為平均數時，各變數變化對取消率的影響大小，並以異質性普羅比模式為討論重點。由於被解釋變數可分為一般連續變數、比例連續變數與二元變數三大類，本研究採用不同邊際效果計算方式。若是一般連續變數，自變數採用變化百分之一，如：起飛排隊延誤增加 1%，即從 1 分鐘增加至 1.01 分鐘，則取消率會增加 0.1081%；若變數是比例連續變數，自變數採用變化 1 百分點，如：小時內航段市佔率增加 1 個百分點，即從 25%增至 26%，則取消率會增加 0.008%；若變數屬於二元變數，自變數從 0 變至 1，如：航班目的地若是樞紐機場，相較於迄點為非樞紐機場的航班，則取消率增加 0.6468%。

在延誤相關變數中，由於起飛排隊延誤有許多交叉相乘項，當所有其他變數固定為平均值，起飛排隊延誤變數每增加 1%則取消率會增加 0.11%，邊際效果大約為另兩種模式之兩倍，顯見考量異質變異數對影響效果的估計。t 時平均起飛延誤與 t 時平均抵達延誤也略比其他兩種模式高，每增加 1%起飛與抵達延誤，取消率分別增加 0.66%和 0.85%。

表 5.5 起飛航班取消模式邊際效果比較

性質		類型	變數(單位)	羅吉特模式		普羅比模式		異質性普羅比	
				邊際值(%)	標準誤	邊際值(%)	標準誤	邊際值(%)	標準誤
連續變數	一般	延誤	起飛排隊延誤(分鐘/架)	0.0549***	0.0052	0.0568***	0.0050	0.1081***	0.0041
			t 時起飛延誤(分鐘/架)	0.5511***	0.0516	0.6121***	0.0483	0.6602***	0.0453
			t 時抵達延誤(分鐘/架)	0.7818***	0.0531	0.8241***	0.0476	0.8458***	0.0448
		航段營運特性	距離下一航班時間(天)	-0.0718***	0.0226	-0.0601***	0.0213	-0.0385*	0.0200
			平均頻率(架/天)	0.1488***	0.0397	0.1381***	0.0381	0.1305***	0.0362
			距離(百英里)	-0.4416***	0.0385	-0.4049***	0.0371	-0.3191***	0.0359
		天氣	能見度(英哩)	-0.2909***	0.0835	-0.2282***	0.0853	-0.2088***	0.0912
			風速(節)	0.4258***	0.0517	0.3472***	0.0499	0.1875***	0.0482
		比例	競爭性	小時航班市佔率(百分點)	0.0108***	0.0025	0.0087***	0.0025	0.0080***
	航段市場集中度(百分點)			0.0025***	0.0005	0.0027***	0.0005	0.0048***	0.0011
	航段營運		平均乘載率(百分點)	-0.0046**	0.0018	-0.0057***	0.0018	-0.0090***	0.0022
	二元變數	一般	機場	迄點樞紐機場	0.5424***	0.0756	0.6084***	0.0717	0.6468***
天氣			儀器天氣情況	0.2773***	0.0577	0.2431***	0.0547	0.1814***	0.0520
航空公司			美國航空	-0.6431***	0.0905	-0.6371***	0.0857	-0.6005***	0.0861
			快捷航空	-0.1452	0.1027	-0.1877**	0.0947	-0.1933**	0.1012
			西空航空	-0.2960**	0.1184	-0.3319***	0.1092	-0.2933***	0.1077
			聯合航空	-1.2349***	0.0807	-1.2001***	0.0765	-1.128***	0.0791

資料來源：本研究整理

在航段營運特性變數中，距離下一航班時間與平均乘載率兩變數的異質性普羅比模式邊際值與另兩種模式邊際值相比差異較大，而頻率與距離的邊際值在三種模式間差異不大。就異質性普羅比模式而言，航段頻率每增加 1%，取消率增加 0.13%；航班的平均乘載率每增加 1 個百分點，取消率減少 0.009%；航班的航

程距離與距離下一航班時間每增加 1%，取消率分別減少 0.32%與 0.04%。

由於競爭性相關變數包含起飛排隊延誤交叉相乘項，需綜合考量其效果，當所有其他變數固定為平均值，小時航班市占率每增加 1 個百分點，即從 30%增至 31%，取消率會增加 0.008%；航段 HHI 每增加 1 個百分點，亦即從 0.22 增至 0.23，取消率會增加 0.0048%。綜合而言，在其他變數為平均值情況下，該航段的市場越趨向獨佔時(HHI 趨向 1)或小時航班市佔率越大，則航空公司越容易取消航班。相比兩競爭性變數的邊際值可知，小時航班市占率對取消率影響較大。

在天氣部分，相較於可目視飛行狀態，若處於儀表飛行狀態，則航班取消率增加 0.18%；能見度每增加 1%，取消率減少 0.21%；風速每增加 1%，取消率增加 0.19%。在機場方面，相較於迄點為非樞紐機場，若目的地機場是樞紐機場則會讓航班取消率增加 0.65%。關於歐海爾機場內的四家主要航空公司，相對於其他家航空公司，若航班屬於美國航空，則取消率減少 0.60%；若屬於快捷航空，則取消率減少 0.19%；若屬於西空航空，則取消率減少 0.29%；若屬於聯合航空，則取消率減少 1.13%。

交互作用的變數邊際效果：

由於交互相乘項的變數中，航段 HHI、小時航班市佔率以及起飛排隊延誤皆為連續變數，須透過檢視不同範圍的邊際值的顯著性來確認變數的實際影響效果。探討(1)不同航空公司之起飛排隊延誤、(2)不同競爭性變數範圍下起飛排隊延誤以及(3)不同排隊起飛延誤範圍下競爭性變數，對於取消率的邊際效果。

將排隊延誤與航空公司交叉相乘項經邊際效果檢測，可得知不同航空公司之起飛排隊延誤對取消的邊際效果(表 5.6)，相較於其他航空公司，若該航班屬於美國航空，當起飛排隊延誤增加 1%，則取消率增加 0.0841%，其他以此類推。由此可知道，快捷航空對於排隊延誤的敏感度最高、西空航空次之，美國航空與聯合航空較低。

表 5.6 起飛排隊延誤與航空公司交叉相乘項對取消的邊際效果

單位(%)	美國航空	快捷航空	西空航空	聯合航空
邊際值	0.0841***	0.2007***	0.1395***	0.0798***
標準誤	0.0137	0.0272	0.0148	0.0113

資料來源：本研究整理

由於小時航班市佔率與航段 HHI 兩變數為連續變數，因此當兩變數為不同數值時，起飛排隊延誤對取消的邊際效果也隨之不同。由圖 5.1 可知小時航班市佔率(a)與航段 HHI(b)由 0 增加至 100 百分點時，起飛排隊延誤每增加 1%對於取消率的影響，隨著兩競爭性變數增加，排隊延誤對於取消率的影響皆是顯著地增加，小時航班市佔率的邊際效果增加幅度漸高，對取消率的增加影響範圍約在 0.18% 內，而航段 HHI 對取消的增加幅度是逐漸降低的，對取消的增加影響範圍約在 0.06% 至 0.09% 間。

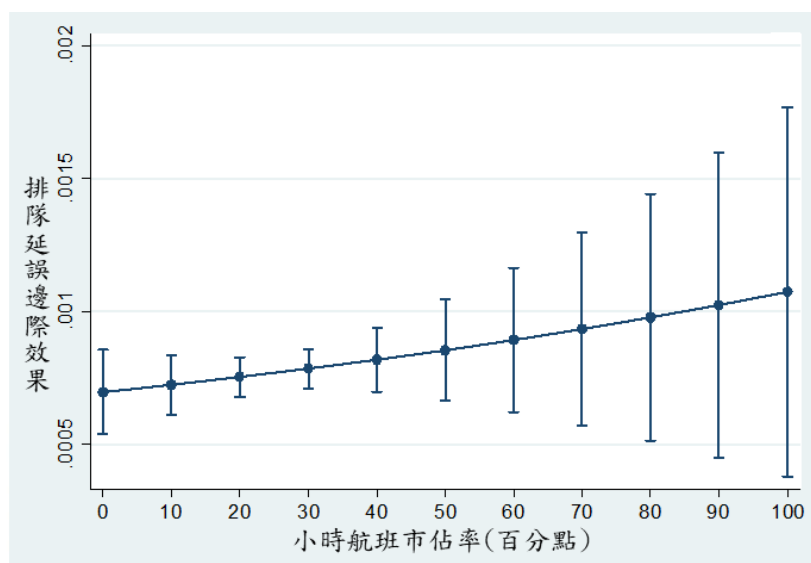


圖 5.1(a) 不同小時航班市佔率下起飛排隊延誤之邊際效果

資料來源：STATA 繪製

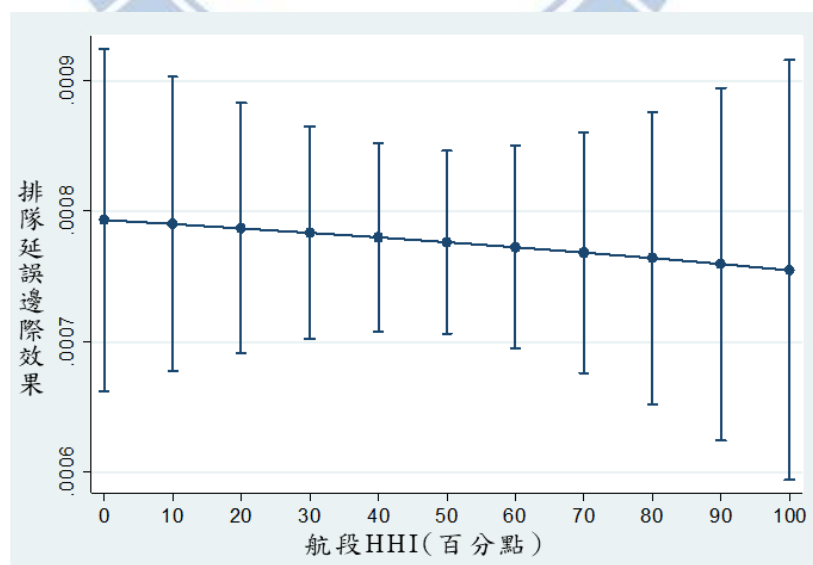


圖 5.1(b) 不同航段 HHI 下起飛排隊延誤之邊際效果

資料來源：STATA 繪製

就競爭性變數的邊際效果而言，圖 5.2 可以看出不同起飛排隊延誤下小時航班市占率(a)與航段 HHI(b)之邊際效果，整體而言，當起飛排對延誤增加時，兩競爭性變數對取消的影響也是增加。然而，僅部分範圍的邊際效果顯著，當起飛排隊延誤逐漸增加至 11 與 12 分鐘後，小時航班市占率與航段 HHI 邊際效果分別開始不顯著。在顯著的範圍內而言，隨起飛排隊延誤增加，小時航班市占率對取消率的增加的影響範圍約在 1.1%內，航段 HHI 對取消率的增加的影響範圍約在 0.9%內。

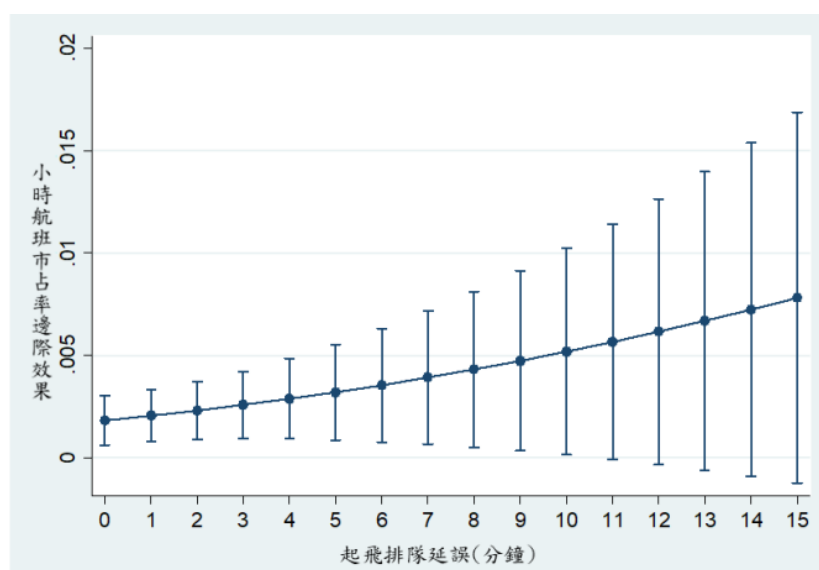


圖 5.2(a) 不同起飛排隊延誤下小時航班市占率之邊際效果

資料來源：STATA 繪製

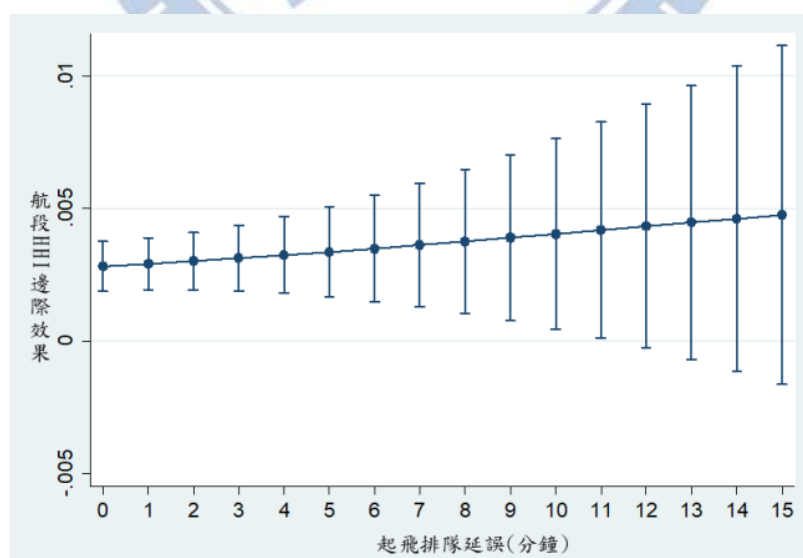


圖 5.2(b) 不同起飛排隊延誤下航段 HHI 之邊際效果

資料來源：STATA 繪製

5.4 延誤與取消均衡模式結果

5.4.1 均衡模式結果與驗證

本研究將機場起飛延誤、抵達延誤與取消模式之校估結果，建立一互動之均衡模式並利用 MATLAB 撰寫程式求解均衡，其運作流程圖如圖 5.3，其中航空公司 A、B、C、D，代表芝加哥歐海爾機場前四大家：美國航空(AA)、快捷航空(EV)、西空航空(OO)與聯合航空(UA)。

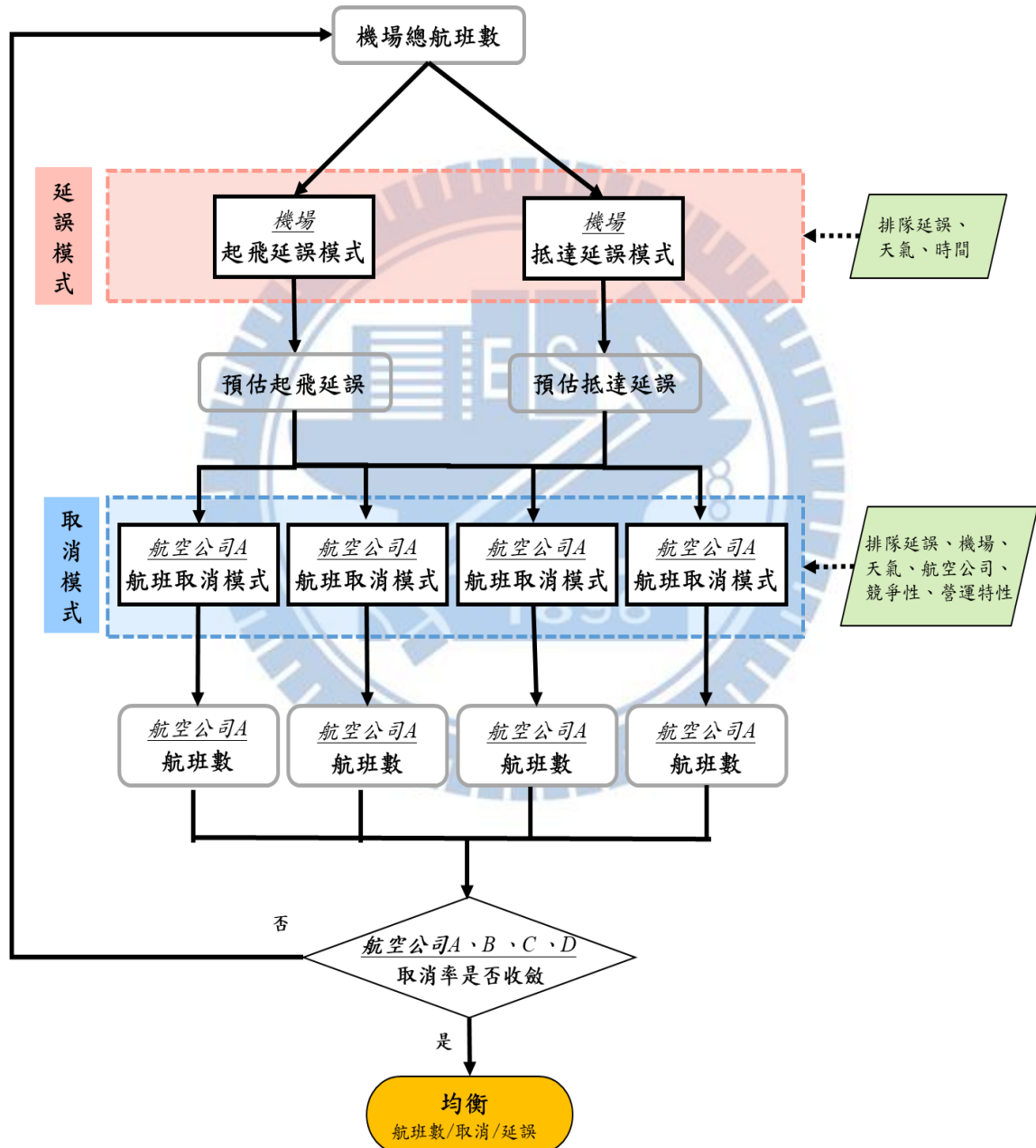


圖 5.3 均衡模式流程圖

資料來源：本研究整理

本研究均衡模式(如圖 5.3)以機場總航班數、預估起飛延誤與預估抵達延誤三種變數之變化，將延誤模式與取消模式整合，延誤模式的外生變數有排隊延誤、儀表飛行狀況、能見度、風速以及月份，而起飛排隊延誤、競爭性變數、營運特性變數、航空公司、機場和天氣則是取消模式的外生變數。首先將機場總起降航班數和延誤模式的外生變數，代入迴歸校估後的起飛延誤與抵達延誤模式，計算分別得出預估的起飛延誤與抵達延誤，將兩預估延誤和取消模式的外生變數代入異質性普羅比模式校估後的起飛航班取消模式，計算得出各航班之取消機率。之後以期望值之概念將各航空公司該小時的所有航班取消機率加總得出各航空公司該小時取消航班之期望值，進而可得出各航空公司航班取消率，將總起降航班數減去取消航班數，得出更新後機場總起降航班數。藉由比較每一次迴圈的各航空公司取消率與前一次迴圈之差異，若兩次迴圈之取消率差異小於 0.001% 則視為延誤與取消均衡，反之則該總航班數結果再次代入起飛與抵達延誤模式，繼續迴圈直到收斂。

模式驗證

本研究將均衡模式與歷史資料進行比對，了解均衡預測的準確性。從 2017 年隨機抽取有排隊延誤且有取消航班的某一小時，下表 5.7 資訊為該小時之歷史參數，競爭性與營運特性之參數由於每班次不同而不詳列，驗證結果如表 5.8 所示：

從表 5.8 可得知，延誤模型的預估與實際情況之差距在 15%-32% 左右，誤差原因可能來自於未被觀察到之因素影響，結果尚在接受範圍內。機場整體航班取消率的預估與實際相差 3.16%，其中快捷航空相差最大，其他航空公司的預測差異約在 7% 內，整體機場取消率差異也在 3%，而快捷航空在歐海爾機場之市占率僅 10%，因此若有取消航班，其取消率的變異會較大，故預測差距較大。

表 5.7 均衡模式驗證歷史參數

參數名稱	參數值	參數名稱	參數值
排隊起飛延誤(分鐘)	15.164	儀表飛行狀態	是
排隊抵達延誤(分鐘)	1.64	風速	11
起降航班數	111	能見度	6

資料來源：本研究整理

表 5.8 歷史資料與均衡模式比較表

單位:分鐘	實際情況	模式預估	差距
起飛延誤分鐘	25.79	19.81	-23.16%
抵達延誤分鐘	23.48	16.22	-30.92%
單位:班次數(比率)	實際情況	模式預估	差距
機場總取消	8(14.04%)	6.202(10.88%)	-3.16%
美國航空取消	1(7.69%)	0.511(3.93%)	-3.76%
快捷航空取消	1(25%)	0.467(11.67%)	-13.33%
西空航空取消	6(24%)	4.874(19.49%)	-4.51%
聯合航空取消	0(0%)	0.35(2.33%)	+2.33%
其他航空公司	0(0%)	0(0%)	0%

資料來源：本研究整理

由於模式預測本就會有高估或低估，無法保證誤差之範圍，同時也是均衡模型之限制，表 5.8 是有排隊延誤且有取消航班的某一小時資料進行驗證，因此起飛延誤與抵達延誤預測誤差剛好皆低估。然而，航班取消仍是佔少數，為了更清楚瞭解均衡模式整體預測之準確性，本研究隨機抽取 10 個小時進行均衡後預測並與實際資料比較。表 5.9 是 10 筆預測值與實際值之差距分配。延誤的誤差是由均衡後的預測值與實際觀察值相減得出誤差分鐘數，正數為高估，負數代表低估。再由誤差分鐘數除以實際觀察值得出誤差比率。取消的差距是由預測取消率減實際取消率。

表 5.9 歷史資料與均衡預測差距之分配表

單位:分鐘(比率)	最小值	第 1 四分位數	中位數	第 3 四分位數	最大值	平均
起飛延誤	-17.02 (-52.44%)	-3.77 (-21.41%)	2.73 (19.11%)	7.91 (53.91%)	12.71 (96.49%)	1.12 (20.43%)
抵達延誤	-17.72 (-68.03%)	-6.49 (-30.17%)	-0.12 (-0.74%)	4.97 (28.51%)	7.56 (110.54%)	-1.48 (5.44%)
單位:比率	最小值	第 1 四分位數	中位數	第 3 四分位數	最大值	平均
機場總取消	-3.16%	0.54%	0.71%	0.87%	1.13%	0.38%
美國航空	-3.76%	0.51%	0.72%	0.75%	0.94%	0.17%
快捷航空	-13.33%	0.45%	0.60%	0.74%	0.87%	-0.77%
西空航空	-4.51%	0.72%	0.88%	1.27%	7.77%	1.12%
聯合航空	0.19%	0.23%	0.26%	0.42%	2.91%	0.74%
其他航空公司	-3.70%	0.61%	0.79%	1.25%	2.03%	0.50%

資料來源：本研究整理

延誤誤差範圍從低估 17 分鐘至高估 12 分鐘，以誤差比率而言則是低估 70% 至高估 110%。起飛延誤誤差中位數是高估 19.43%，誤差平均數是高估 20.43%。抵達延誤誤差中位數低估 0.74%，平均是高估 5.44%。以誤差比率而言，不論起飛延誤與抵達延誤的皆是中位數小於平均數，其樣本分布為右偏。

就取消率而言，機場整體取消率誤差範圍從低估 3.16% 至高估 1.13%，中位數高估 0.71%，平均高估 0.38%，中位數高於平均數，誤差分布為右偏，各航空公司而言誤差分佈也與機場整體取消率類似，惟快捷航空與西空航空是左偏，聯合航空皆是高估，係因為聯合航空在抽樣之 10 筆資料內剛好並無取消航班。整體而言，模式預測誤差尚可在接受範圍，均衡模式尚能掌握機場績效狀況。

5.4.2 政策情境模擬分析

本節運用所建立之均衡模式探討在不同情境下，航班延誤與取消率的改變情況。探討情境包含：(1)天氣狀況驟變，機場容量縮減，排隊延誤增加、(2)航空公司競爭情況改變下，如：市佔率組成改變，對於起飛延誤、抵達延誤以及航空公司航班取消的決策影響。藉由情境模擬之結果給與機場、航空公司與政府主管機構參考。

情境一：容量縮減，起飛排隊延誤增加之衝擊

當天氣狀況驟變，機場最直接反應在起飛與抵達容量的縮減，進而導致排隊延誤增加，本研究欲探討排隊延誤之增加對機場整體延誤與航空公司取消決策之反應，隨機挑選某一天氣狀況良好、並無排隊延誤之小時當作模擬比較基礎，模擬排隊延誤 0 至 15 分鐘之變化，此範圍已包含樣本中超過 80% 之排隊延誤。

情境模擬結果如圖 5.4 所示，在未有排隊起飛延誤時的取消率高低依序是美國航空、西空航空、快捷航空以及聯合航空，當排隊延誤 3 分鐘後，快捷航空取消率開始超過美國航空均衡取消率。整體而言，當排隊延誤為 15 分鐘時，各航空公司取消率皆在 3.6% 內，分別是西空航空為 3.6%、快捷航空 2.8%、美國航空 0.85%、聯合航空 0.26%、機場整體取消率 1.9%。各家航空公司針對起飛排隊延誤對於航班取消率之影響是正向且嚴格遞增，西空航空與快捷航空對排隊起飛延誤較為敏感，上升幅度較為快速，而美國航空與聯合航空的取消率較為穩定。

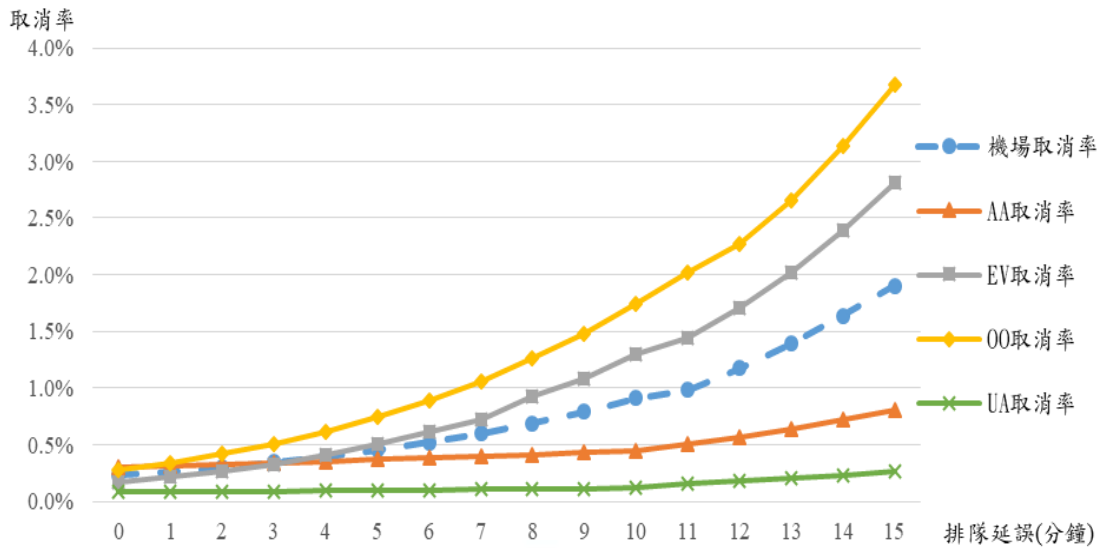


圖 5.4 起飛排隊延誤對取消率之影響

資料來源：本研究整理

起飛排隊延誤對於均衡後的起飛延誤之影響如圖 5.5，在基本情境排隊起飛延誤為 0 分鐘時的均衡起飛延誤約 14.5 分鐘，均衡起飛延誤隨著排隊起飛延誤增加而增加，當排隊延誤為 15 分鐘時，均衡的起飛延誤約 21 分鐘。將預估的起飛延誤相對於基本情境下計算後得出之改變百分比，穩定成長，在 9 分鐘後的改變百分比增長逐漸趨緩，當排隊延誤為 15 分鐘時，改變百分比約 41%。當排隊延誤越嚴重後，均衡後的延誤改變百分比增加幅度會逐漸減少。

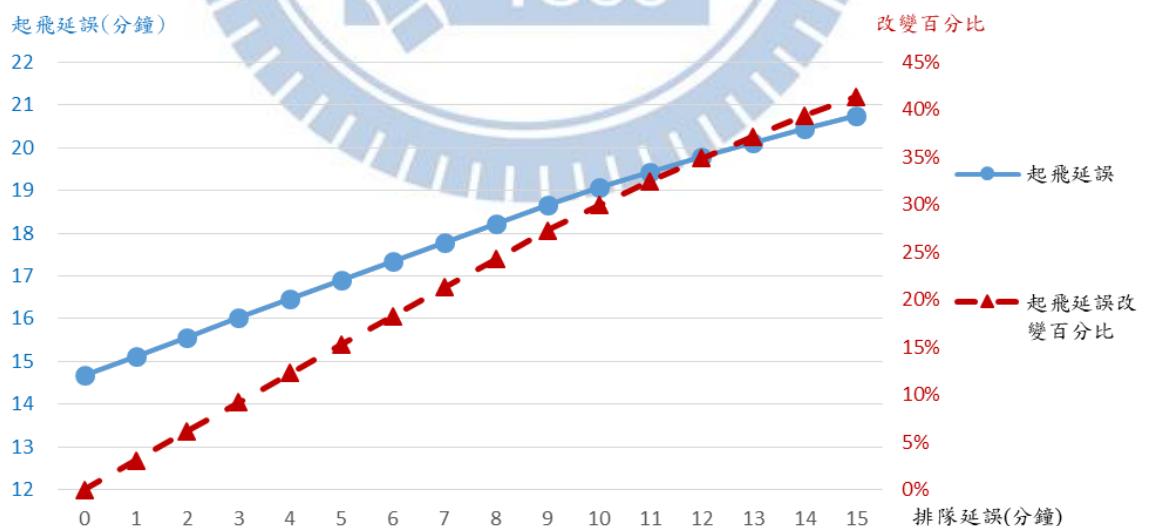


圖 5.5 起飛排隊延誤對起飛延誤之影響與其改變百分比

資料來源：本研究整理

情境二：機場航空公司市佔率之改變

本情境用以模擬機場內航空公司市佔率之改變對於機場航班延誤與取消之衝擊。本研究隨機挑選某 1 小時具有排隊延誤的歷史資料進行模擬，為了控制其他變數之影響，假設航線營運特性等參數採用平均值。假設小時航班市佔率與各航段市佔率兩變數等於機場內航空公司總航班之市佔率，以代表機場內航空公司競爭性狀況，進而以藉此計算機場內航空公司市場集中度(HHI)與有效競爭家數。模擬之變動參數包含小時內航班市佔率、航段 HHI，以及以航空公司虛擬變數來調整市佔率對應之航班數。

歐海爾機場之航空公司組成現況可視為西空航空(30%)、聯合航空(27%)以及美國航空(24%)三足鼎立，快捷航空稍低(9%)，其餘航空公司市佔率總計不超過 5%，故在次忽略，故本研究將各家航空市佔率調整為西空航空(30%)、聯合航空(30%)、美國航空(25%)以及快捷航空(15%)，有效競爭家數為 3.8 家，視為基礎現況，後續分析將以此進行比較。隨著各航空公司競爭激烈，航空公司合併或退出市場屢見不鮮，本研究嘗試估算當機場內競爭狀況越趨近於(1)雙佔市場或(2)獨佔市場，機場延誤與取消率之變化情況。

情境 2-1：當機場內航空公司趨近於雙佔市場

圖 5.6 假設市佔率最大的兩家航空公司(西空航空與聯合航空)之市佔率逐漸增加、其他航空公司市佔率等比例縮減情況，航空公司市佔率與市場集中度逐漸趨近於假設之雙佔市場，圖 5.6 顯示兩家航空公司之市佔率與市場集中度增加至 0.5、有效競爭家數下降至 2 家，機場整體取消率將由現況預估的 8.36%增至 9.25%，上升 0.89 個百分點，改變的比例為 10.64%。

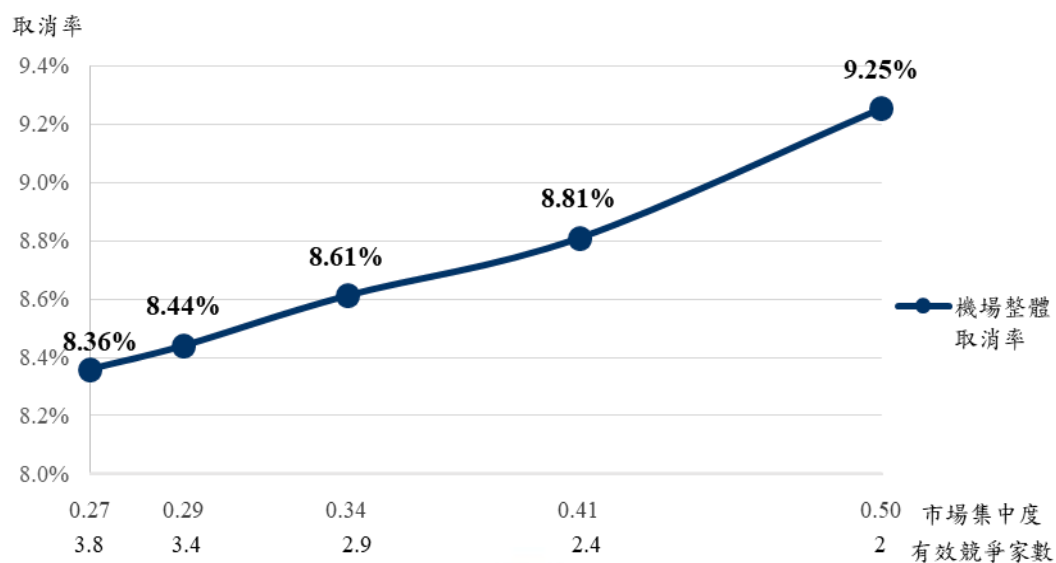


圖 5.6 趨向雙佔市場對機場整體取消率之影響

資料來源：本研究整理

圖 5.7 則是市佔率變化下機場均衡後的起飛與抵達延誤相對於基礎現況下的變化百分比，可看出隨著趨向雙佔市場，兩種延誤逐漸下降，在雙佔時候，起飛延誤相較於現況下降約 0.33%，抵達延誤下降約 0.1%。趨向雙佔時，起飛延誤比抵達延誤下降的幅度更多，係由於取消的是起飛航班，故抵達延誤變化沒有起飛延誤明顯。

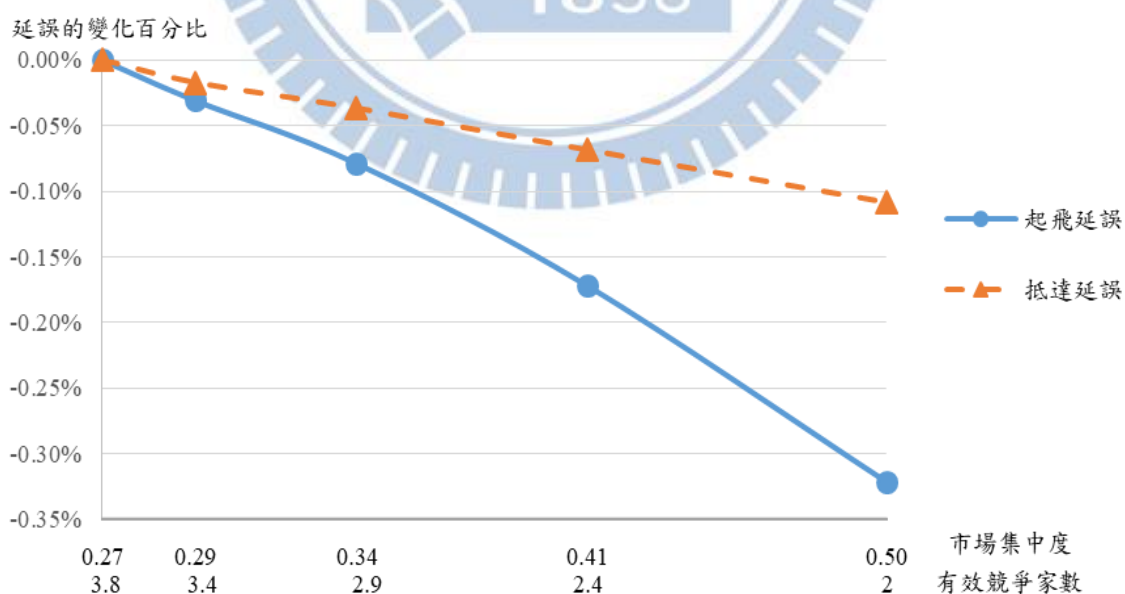


圖 5.7 趨向雙佔市場對機場起飛與抵達延誤之影響

資料來源：本研究整理

情境 2-2：當機場內航空公司趨至獨佔市場

當市佔率最大之航空公司恒大，最終趨近至一家獨佔機場之狀況，並以現況機場內市佔率最大之西空航空獨佔為例。圖 5.8 可看出若從現況逐漸發展至西空航空獨佔情況下，整體取消率是從現況預估的 8.5% 增至 18%，上升 9.5 個百分點，改變的比例約 111.76%，其增加的大幅度有部分原因來自於西空航空本身之取消偏好，但總體而言仍可得知市佔率越大、市場集中度越高、有效競爭家數越少趨近獨佔市場下，機場取消率會增加。

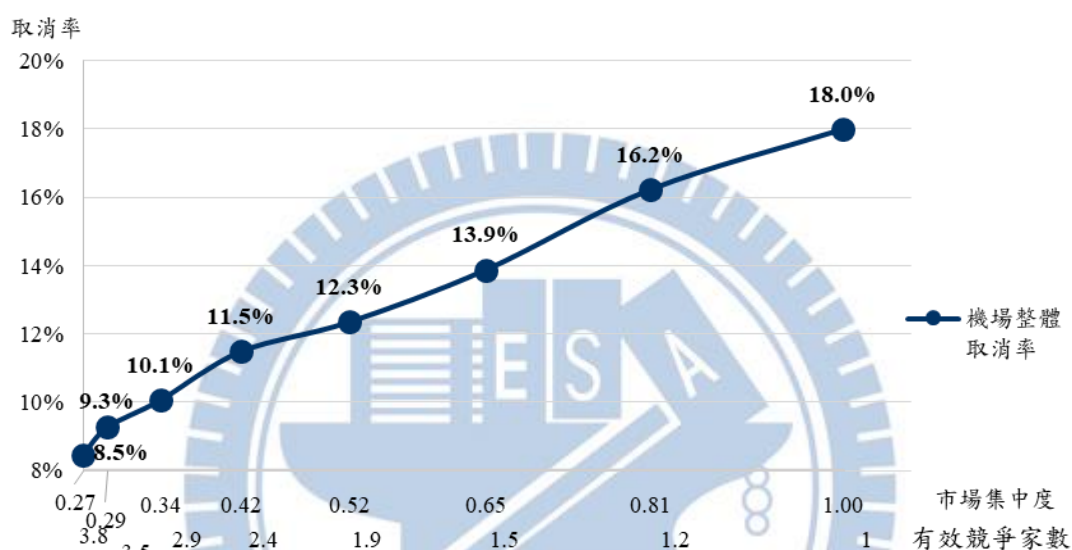


圖 5.8 趨向獨佔市場對機場整體取消率之影響

資料來源：本研究整理

圖 5.9 為市佔率變化下機場均衡後的起飛與抵達延誤相對於基礎現況下的改變百分比，可看出隨著趨向獨佔市場，兩種延誤逐漸下降，在獨佔時候，起飛延誤相較於現況下降了 2%，抵達延誤下降約 0.2%。起飛延誤下降的幅度一直比抵達延誤更多，係因為取消的是起飛航班，故抵達延誤變化沒有起飛延誤明顯。

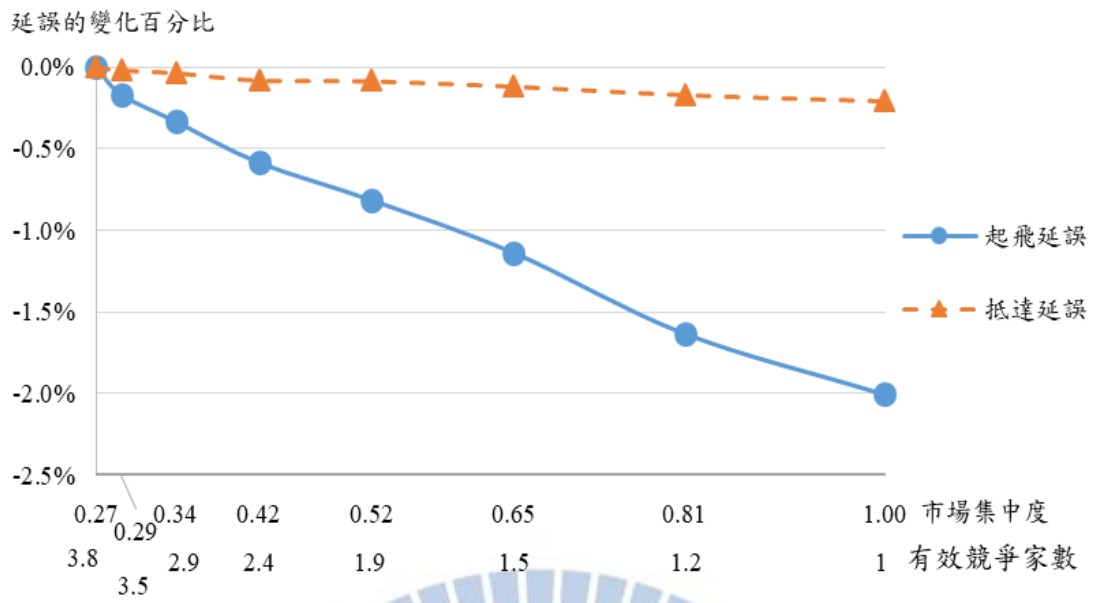


圖 5.9 趨向獨佔市場對機場起飛與抵達延誤之影響

資料來源：本研究整理

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究以機場與航空公司營運之角度建立航班延誤與取消之互動模式。其主要概念性架構如下：個別航空公司基於機場整體延誤情況而決定航班取消數，而機場延誤則受到所有航空公司之總體班次數所影響。本研究考量班機延誤、競爭性、航線營運特性、航空公司、天氣、機場等六大類因素，應用異質性普羅比模式建立航班取消模式、GARCH 迴歸模式建立機場航班延誤模式，以結合兩模式建立均衡互動模式求取均衡之航班數與取消數。另外，以航空公司組成具有競爭性之機場(ORD)進行實證研究，並以均衡模式模擬相關情境，分析均衡之變化。

延誤模式校估結果顯示，排隊延誤是影響起飛或抵達延誤的重要因素，表定起降航班量以及天氣交叉相乘項皆對延誤有顯著影響。比較起飛延誤與抵達延誤模式可知，排隊延誤對抵達延誤影響較嚴重，推測是因為起飛航班可視排隊延誤情況而取消航班，但部分抵達航班無法；天氣對抵達延誤影響較小，可能是因為天氣不好的時候，抵達航班有優先使用空側陸測資源權，可盡快安全降落至地面。本研究之延誤模式應用 GARCH 模式，考量與前 1 與前 2 小時相關，排隊延誤與表定起降航班量與延誤的異質變異有關，故未來若建立相似模式時可以納入考慮。

由取消模式之校估結果可知，排隊延誤、起飛和抵達延誤確實使起飛航班取消機率增加；不論是以小時 t 內航班市占率的或以航線 HHI 而言，競爭性越高則越不容易取消航班；航段營運特性、天氣、迄點樞紐機場也顯著影響取消決策。此外，本研究透過排隊延誤、航空公司以及競爭性變數的交叉相乘項，了解在取消與否的決策上，不同航空公司對排隊延誤的敏感度差異性；隨著機場 HHI 或航段市占率增加，排隊延誤對於取消率的影響也增加；當起飛排隊延誤在 12 分鐘內時增加，則競爭性變數對取消的影響也是顯著增加。

本研究將延誤模式與取消模式結合成為可互動之均衡模式，可隨時預測均衡後的機場延誤與航空公司取消哪一航班與航班數，其驗證結果顯示模式預測誤差尚在接納範圍，能掌握機場績效狀況。情境模擬結果發現，航空公司的取消率對排隊延誤較大的時候較為敏感，代表預期延誤很嚴重時會更容易取消航班以內化延誤成本。與現況預估(3.8 家有效競爭航空公司)相比，當機場為雙佔市場時，取消率上升 0.9 個百分點，取消率改變的比例為 10.84%，起飛延誤下降 0.33%；當

機場為獨佔市場時，取消率上升 9.5 個百分點，取消改變比例為 111.76%，起飛延誤下降 2%。顯見競爭性對取消率與延誤之影響，以及越傾向獨占之機場，航空公司越可能透過取消航班以內化延誤成本。

6.2 建議

對於航空公司、機場與主管機關之建議

- (1) 根據研究結果可知，隨著機場的市場集中度增加，則機場整體取消率上升，延誤下降，航空公司可能透過取消航班以內化其航班之延誤。雖然本研究以及過去研究均發現越獨佔機場可以使延誤情形下降，但本研究也發現其內化延誤之方式可能來自於取消航班，因此當機場或主管機構有權力決定航空公司合併時，需考慮旅客對於航班取消或延誤之影響嚴重度，不能僅考慮準點率上升或延誤降低而忽略上升的取消率，需在航班取消或延誤之間進行權衡，機場可參考本研究結果，謹慎評估為旅客把關。
- (2) 此外，由上述研究結果可知，航空公司仍是以自我利益為優先，機場與主管機關須努力促進各家航空公司合作，如：地面延誤計劃(GDP)或資訊共享平台等，進而可藉由本研究之均衡模式，提供機場預測航班取消與延誤的相關資訊參考，並可提前安排機場營運作業，使機場作業效率提高，讓各航空公司在自由競爭的機場，仍能有如獨佔機場般的延誤與取消率下降績效。
- (3) 根據取消模式校估結果以及均衡模式之模擬，希望提供航空公司最適當的航班取消決策參考依據，如：決策取消航班數量與取消哪一航班，並分析該機場內的競爭情況，了解自己與競爭對手的取消行為與優劣勢，針對自己航空公司更深入研究，調整對自己最有利之反應，如：對排隊延誤之反應，並可藉由本研究考量競爭對手之反應，而不會高估延誤，取消過多航班。

對於後續研究之建議

- (1) 由於本研究延誤模式以機場營運角度考量，資料型態以小時為單位，僅考量到流量、天氣、月份等相關變數，仍有其他因素效果並未考量到，例如：航網型態(如：轉機比例)、機場航空公司競爭程度與組成等，建議後續研究可以納入。
- (2) 由取消模式校估結果與情境模擬可以看出西空航空與快捷航空的取消率較高，推測可能因為其航空公司型態與其他傳統公司略微不同，故未來研究可以考慮納入航空公司型態，例如：區域型航空公司或低成本航空公司等相關變數，以利取消模式的預測更加精準。
- (3) 本研究之均衡模式為預估結果，與實際觀察值存在一定比例之誤差，而本研究的情境模擬因有諸多假設，故無法將誤差反應至模擬之數值而消除誤差，因此建議未來相似研究與情境模擬時，須考慮誤差並反應至預估值上，使模擬數據精準度提高。
- (4) 由於資料庫中乘客數與座位數之紀錄數值、某些航空公司某些航段資料、天氣資料等部分缺漏，且部分航班的實際乘載人數大於該航班最大座位數，造成乘載率大於 1 之不合理數值。建議未來可以從多方單位將資料收集完善，以利研究精確性。

參考文獻

中文文獻

1. 林虹伶 (2010)。汽機車持有與使用模式之探討-以澳門地區為例，國立交通大學碩士論文。
2. 周昀徵 (2016)。航空公司之航網型態與機場競爭程度對航班延誤影響分析，國立交通大學碩士論文。

英文文獻

1. Alderighi, M., and Gaggero, A. A. (2018), "Flight cancellations and airline alliances: Empirical evidence from Europe," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 116, pp. 90-101.
2. Argüello, M. F., Bard, J. F., & Yu, G. (1997), "A GRASP for aircraft routing in response to groundings and delays," *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 1, No. 3, pp. 211-228.
3. Air Travel Consumer Report (2018), Overall Causes Of Delay By Reporting Carrier Air Travel Consumer Report, Retrieved September 13 2018, website: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/resources/individuals/aviation-consumer-protection/319546/august-2018-atcr_0.pdf
4. Ball, M. O., Vossen, T., & Hoffman, R. (2001), "Analysis of demand uncertainty effects in ground delay programs," In *4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*, pp. 51-60.
5. Ball, M., Barnhart, C., Dresner, M., Hansen, M., Neels, K., Odoni, A. R., ... & Zou, B. (2010), Total delay impact study: a comprehensive assessment of the costs and impacts of flight delay in the United States.
6. Baumgarten, P., Malina, R., & Lange, A. (2014), "The impact of hubbing concentration on flight delays within airline networks: An empirical analysis of the US domestic market," *Transportation Research Part E*, Vol. 66, pp. 103-114.
7. Beatty, R., Hsu, R., Berry, L., & Rome, J. (1999), "Preliminary evaluation of flight delay propagation through an airline schedule," *Air Traffic Control Quarterly*, Vol. 7, No. 4, pp. 259-270.
8. Ben-Akiva, M. E., Lerman, S. R., & Lerman, S. R. (1985), *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (Vol. 9), MIT press.
9. Borenstein, S., & Netz, J. (1999), "Why do all the flights leave at 8 am?: Competition and departure-time differentiation in airline markets," *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 17, No. 5, pp. 611-640.
10. Bureau of Transportation Statistics (2018), Airline On-Time Statistics and Delay Causes, Retrieved September 13 2018, website: https://www.transtats.bts.gov/OT_Delay/OT_DelayCause1.asp?pn=1

11. Bratu, S., & Barnhart, C. (2005), "An analysis of passenger delays using flight operations and passenger booking data," *Air Traffic Control Quarterly*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-27.
12. Cao, J. M., & Kanafani, A. (1997), "Real-time decision support for integration of airline flight cancellations and delays part I: mathematical formulation," *Transportation Planning and Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 183-199.
13. Cao, K. H., Krier, B., Liu, C. M., McNamara, B., & Sharpe, J. (2017), "The nonlinear effects of market structure on service quality: Evidence from the US airline industry," *Review of Industrial Organization*, Vol. 51, No. 1, pp. 43-73.
14. Deshpande, V., & Arkan, M. (2012), "The Impact of Airline Flight Schedules on Flight Delays," *Institute for Operations Research and the Management Sciences*, pp. 423-440.
15. Fleurquin, P., Ramasco, J. J., & Eguiluz, V. M. (2013), "Systemic delay propagation in the US airport network," *Scientific reports*, Vol. 3, pp. 1159.
16. Fukui, H., & Nagata, K. (2014), "Flight cancellation as a reaction to the tarmac delay rule: An unintended consequence of enhanced passenger protection," *Economics of Transportation*, Vol. 3, No. 1, pp. 29-44.
17. Greene, W. H. (2003), *Econometric analysis*, Pearson Education India.
18. Greenfield, D. (2014), "Competition and service quality: New evidence from the airline industry," *Economics of transportation*, Vol. 3, No. 1, pp. 80-89.
19. Hansen, M. (1990), "Airline competition in a hub-dominated environment: An application of noncooperative game theory," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 24, No. 1, pp. 27-43.
20. Hansen, M. (2002), "Micro-level analysis of airport delay externalities using deterministic queuing models: a case study," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 8, No. 2, pp. 73-87.
21. Hansen, M. and Hsiao, C.Y. (2005), "Going South? Econometric Analysis of U.S. Airline Flight Delays from 2000 to 2004," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1915, pp. 85-94.
22. Hao, L., & Hansen, M. (2014), "Block time reliability and scheduled block time setting," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 69, pp. 98-111.
23. Hsiao, C. Y., & Hansen, M. (2006), "Econometric analysis of US airline flight delays with time-of-day effects," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1951, pp. 104-112.
24. Jong, H.T., (2000), *The Study on Flight Delay Propagation and Control Strategies*, A Thesis of Traffic and Transportation, National Chiao Tung University.
25. Krier, B., Liu, C. M., Cao, K. H., McNamara, B., Sharpe, J., Denomme T., Neill S., & Ingber J. (2014), *Reductions in Competition Increase Airline Flight Delays and Cancellations*, U.S. Department of Transportation Office of Inspector General.
26. Mayer, C., & Sinai, T. (2003), *Why do airlines systematically schedule their flights to arrive late?*, The Wharton School, University of Pennsylvania.
27. Mazzeo, M. J. (2003), "Competition and service quality in the US airline industry," *Review of industrial Organization*, Vol. 22, No. 4, pp. 275-296.
28. Rupp, N. G., & Holmes, G. M. (2006), "An investigation into the determinants of flight cancellations," *Economica*, Vol. 73, No. 292, pp. 749-783.

29. Rupp, N. G. (2009), "Do carriers internalize congestion costs? Empirical evidence on the internalization question," *Journal of Urban Economics*, Vol. 65, pp. 24-37.
30. Santos, G., & Robin, M. (2010), "Determinants of delays at European airports," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 44, pp. 392-403.
31. Seelhorst, M. (2014). Flight Cancellation Behavior and Aviation System Performance, Ph. D. Thesis, UC Berkeley.
32. Sternberg, A., Soares, J., Carvalho, D., & Ogasawara, E. (2017), A Review on Flight Delay Prediction. arXiv preprint arXiv:1703.06118.
33. Train, K. E. (2009), *Discrete choice methods with simulation*, Cambridge university press.
34. Willemain, T. R. (2002), "Contingencies and cancellations in ground delay programs," *Air Traffic Control Quarterly*, Vol. 10, No. 1, pp. 43-64.
35. Wooldridge, J. M. (2015), *Introductory econometrics: A modern approach*, Nelson Education.
36. Xiong, J., & Hansen, M. (2013), "Modelling airline flight cancellation decisions," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 56, pp. 64-80.
37. Yan, S., & Yang, D. H. (1996), "A decision support framework for handling schedule perturbation," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 30, No. 6, pp. 405-419.

