

機場準點率與單跑道作業相關性研究

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN AIRPORT ON-TIME PERFORMANCE AND SINGLE RUNWAY OUTAGE

曹修章 Hsiu-Chang Tsao¹

余朝恩 Chao-En Yu²

(107年10月16日收稿，108年1月21日第1次修改，108年4月8日第2次修改，
108年5月8日第3次修改，108年6月10日定稿)

摘 要

本文主旨為探討桃園國際機場過去9年來準點率 (On-Time Performance) 的變化。本文蒐集民國98-106年間跑道、滑行道施工關閉次數、顯著危害天氣、航管因素等資料，進行實證分析。在利用多元迴歸法進行初步分析後，再以固定效果模型 (Fixed Effect Model) 和隨機效果模型 (Random Effect Model) 進行分析，並從中選出適合者。結果顯示，跑道、滑行道施工關閉次數、顯著危害天氣、航管因素與準點率均呈負相關。最後以單跑道作業開始作為結構差異檢定的時間點，使用鄒檢定 (Chow Test) 進行檢定。在縱橫資料迴歸分析 (Panel Data Regression) 中，Hausman Test 檢定後以固定效果模型為佳，航管因素則影響機場準點率最嚴重。

關鍵詞： 準點率；單跑道作業；標準化迴歸係數；縱橫資料

ABSTRACT

The main purpose of this thesis is to investigate the changes in on-time performance of Taoyuan International Airport over the past nine years. The

-
1. 國立清華大學公共政策與管理研究所碩士，現任交通部桃園國際機場公司航務處航務師。
 2. 國立清華大學經濟系副教授 (聯絡地址：30013 新竹市光復路2段101號國立清華大學經濟系；電話：03-516-2514；E-mail：chaoenyu@mx.nthu.edu.tw)。

empirical analysis uses the data on runway / taxiway construction closure, significant meteorological information and air traffic control delay from 2009 to 2017. After a preliminary analysis using the multi-factor linear regression method, our panel data analysis shows that the notice to airmen, significant meteorological information and air traffic control delay were significantly negatively correlated with on-time performance. The Chow test is used to examine whether there is a structural change at the beginning of the single runway outage. The Hausman test selects the fixed effects model compared with the random effects model. And the air traffic control delay is found to be the most significant factor that influences the airport on-time performance.

Key Words: *On-time performance ; Single runway outage ; Standardized regression coefficients ; Panel data*

一、前言

國際上許多主要機場都有嚴重的延誤問題，探究問題的本質可以發現，每個機場的營運量由空間與時間組成，航空運輸量縱然有大幅增長的需求，機場的容量在單位時間內的供給卻是有限的。在安全的顧慮下，供需不平衡的結果就是產生流量管制，航班延誤等等。而機場的主要客戶是航空公司，「飛機只有在飛行時才能獲得收益」，所以航空公司追求高收益而規劃的航班時刻表，用以確保所有航機地面作業均維持在高效率狀態。一旦發生延誤，航空公司付出的代價便是每單位時間的人力、燃油營運成本的增加，歐洲部分國家甚至會因此對航空公司予以額外的罰款；更遑論旅客因而增加的旅行時間成本。另一方面，從延誤可持續性的角度來看，也造成環境的破壞，外部成本例如航空器發動機所產生高分貝的噪音汙染，以及排放 CO₂ 廢氣造成的空氣汙染等等。

航班延誤不僅影響航空公司及其乘客，也影響其他產業的經濟發展。Ball 等人^[1] 研究顯示，2007 年航班延誤影響美國的國內生產總值 (gross domestic product, GDP) 約 40 億美元、航空公司約 83 億美元、旅客部分更高達約 167 億美元。航空公司成本增加導致乘客必須支付更高的票價，這些高票價連帶影響觀光的需求，而且還導致依賴航空運輸的相關行業，生產成本也跟著增加，而使這些行業的產出需求下降。另外航班延誤也增加了商務旅行所需的時間，商務旅客的工作時間減少，最後的結果就是雇主損失生產力。

國際間，航班準點率通常為機場關鍵績效指標 (key performance indicators, KPI) 之一。桃園國際機場班機準點率，係依據交通部民用航空局「民用機場客運班機準點率統計」方式計算³。「國際航空情報資訊機構」(OAG Aviation Worldwide Limited) 2017 年 10 月

3. 民國 107 年 3 月 1 日之前我國民航局認定航班表定時間 30 分鐘內必須關艙門，否則即為誤點。多數國家與 OAG 準點率計算方式相同，以表定時間加 15 分鐘必須後推，否則就認定為誤點。民航局 107 年 3 月 1 日召開「國際航班班機準點率認定方式研商會議」決議，自 107 年 3 月 1 日起比照國際標準，離場航班之航空器以「後推時間」為基準，後推時間超過表定預計起飛時間 15 分鐘以上即為延誤。

全球國際機場準點率，桃園國際機場準點率僅 79.2%。而桃園國際機場近 9 成航班為中短程航班，受鄰近機場的天候、流量管制等因素影響，加上兩岸定期航線自民國 98 年 8 月 31 日開始，常因中國大陸航班影響，以致來機晚到，影響後續航班準點率。

桃園國際機場於 68 年 2 月完成北側跑道、滑行道系統啟用；73 年南側跑道、滑行道系統開始營運。但由於近 20 年來飛機製造商不斷地發展大型航機以增加酬載，再加上運輸量持續成長，以及跑道、滑行道道面使用年限屆齡之影響，自 80 年代中期開始，使用頻率較密集區段便發生不堪負荷而下沉或破裂，造成底層黃泥受擠壓而溢出的現象。102 年時，機場公司認為局部維修之處理方式，已經無法解決道面持續劣化的問題，未來更難以應付不斷增加之航班運量；據此，爰推動「臺灣桃園國際機場道面整建及助導航設施提升工程計畫」^[2]，將原有跑道、滑行道全面整修及擴建，同時提升助導航設施及燈光系統等級以增加機場營運容量，並符合未來發展需求。兩條主跑道公告維修開始及結束日期如表 1。

表 1 桃園國際機場單跑道作業日期

日期	跑道關閉與開放	天數	飛航公告編號 NOTAM	飛航指南補充通知書 AIP Supplements
103.02.19	南跑道 05R/23L 關閉	343	A0238/14	AIPSUP 22/13
104.01.28	南跑道 05R/23L 開放		A0402/14	AIPSUP 04/14
104.03.06	北跑道 05L/23R 關閉	293	A0148/15	AIPSUP07/15
104.12.24	北跑道 05L/23R 開放		A2530/15	N/A

本文研究目的是以機場面向，探討 98 年至 106 年空側部分 (airside) 影響出境航班準點率的因素；以及 103-104 年在單跑道作業情況下，是否產生重大影響。依我國航空情報申請發布作業規定，跑道、滑行道因施工關閉為首要應申請發布飛航公告之狀況。跑道施工直接影響航班運量，滑行道施工影響航機自登機門後推之後至起飛前，滑行路徑的選擇與等待時間的長短。這兩個因素反映在飛航公告上的次數總和則明顯影響機場準點率的高低。至於旅客通關延遲、航機維修與來機晚到等因素，分屬陸側 (landside) 或是航空公司面向，則未在本文研究範圍內。

茲將各章節內容依序概述如下：第一節前言，說明本文的研究動機、研究目的與研究背景說明；第二節文獻探討，簡述過去有關航空準點率的相關研究，以及近年來桃園國際機場營運概況、起降限制與未來運量預測；第三節敘述統計；第四節研究方法與實證結果，定義各項變數與資料來源，並且將所使用的模型和計量結果進一步加以闡述，並對於準點率影響因素的估計加以分析；最後結論與建議，藉由實證結果分析對本文作一總結，並對後續研究提出建議。

二、文獻回顧

2.1 影響準點率的相關研究

蔡世昌^[3]構建航班抵達與離開機場之延誤模式，以 Cox 等比例危險模式顯示航班運作過程之中航班延誤擴散的形成原因。分析結果顯示，大部分抵達機場的航班之延誤除了起飛機場已形成的延誤外，起飛航班所受到的延誤因素較多，大部分因素非航空公司所能控制。該研究進一步利用所構建的航班抵達與離開機場之延誤模式，分析航空公司所採取的改善延誤之方法的有效性，其中包括對於縮短地停作業時間及增加地面與空中運作的緩衝時間之效果的評估，主要的作法為投入改善的成本和所減少的延誤之利益兩者進行淨效益的估算。雖然增加緩衝時間（地停時間）可以減少一些航班的延誤時間，但是在考量到緩衝時間的成本之情況下，這種改善延誤的作法對航空公司不一定有利，在動態的運作環境中，增加緩衝時間不一定能大幅改善航班的延誤狀況，該研究隱含的意義為：避免起飛機場的延誤才是根本解決抵達延誤的有效方法。

江明哲^[4]以個案公司從 2004 年至 2014 年，由臺北起飛航班之資料進行延誤原因分析，對於航班延誤與延誤因素進行分類並探討其相關性，以 WEKA3.6.10 版資料探勘工具進行資料分析，資料蒐集部分起飛航班資料依年份作為區分。Class Label 設計為延誤等級及是否延誤兩種，再依 Class Label 將資料內容調整分為所有航班資料及只分析延誤航班最後產生 3 組資料集，搭配資訊增益 (information gain)、多重分類器部分，以 AdaBoost 與 Bagging 進行航班延誤分析，再以 2014 年航班資料進行驗證模型是否有較佳的預測能力。最後預測模型判斷延誤情形綜整分析得出，其實延誤最大宗為航機的機務維護部分。

周昀徵^[5]建立機場競爭程度與航空網路型態衡量指標，以計量模型探討航空網路型態與市場競爭程度對航班延誤之影響。在衡量指標的型態中，將不同型態轉機旅客對航班延誤影響進行探討。由起飛延誤、到達延誤、飛行時間、Taxi-in 延誤與 Taxi-out 延誤之效用估計模式結果指出：(1)第 2 段轉機旅客比率越高，延誤情形越嚴重；(2)第 1 段轉機旅客比率越高，延誤較少；(3)轉機旅客來源越集中，延誤情形較嚴重；(4)市場競爭程度越集中，顯示航空公司有將延誤內化的傾向，延誤情形較不嚴重；(5)機場之聯盟市場集中度則對延誤無顯著影響。研究結果應用於延誤來源分析，發現傳統航空公司延誤來源彼此差異較小；在起飛機場中，低成本航空公司旅客轉機比例與傳統航空公司比例彼此相差較大，因而造成延誤來源分析相差大，此兩類型的航空公司延誤均隨時間有越嚴重的趨勢。但是因為在控制天氣、需求與供給等變數的情況下，現實中惡劣天候與架次成長或衰退所帶來的影響便有可能被忽略掉。

Bai^[6]在航班延誤與機場準點率分析中以奧蘭多國際機場 (Orlando International Airport, Florida, MCO)，建立機場延誤和單程航班到達延誤的統計模型，模型使用美國聯邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA) 的航空公司準點率數據和美國國家

海洋暨大氣總署氣候數據中心 (NOAA's National Climatic Data Center, NCDC) 的地面航空氣象數據。使用多元迴歸分析來檢測機場延誤模式，以及航機延誤抵達模式，然後將這些模型以航班延誤分析和機場延誤評估系統的形式進行整合。結果發現，奧蘭多國際機場每日抵達延誤平均數與其他機場的起飛延誤密切相關；由每日抵達延誤平均數發現，有季節性和周期性的型態，表示天氣條件才是影響到達目的地機場的延誤的最重要的因素，而機場的容量對航班延誤的影響並不顯著。相較於其他機場而言，或許機場容量不是奧蘭多國際機場的重要問題，但是每個機場都有其特殊的天候與地理環境，所以面對的問題也應該不盡相同。

Sternberg 等人^[7]在航班延誤預測研究綜述一文中指出，2007 年至 2014 年之間，有 67% 的研究均包含迴歸模型、計量經濟模型、參數檢驗、非參數檢驗和多變量分析 (MVA) 統計分析。在迴歸模型中，延遲效果與推估模型都可以幫助航空公司估計延誤成本。許多經濟計量模型也被用來評估飛行效率，例如：分析機場硬體設備的投資，或是考慮延誤頻率和規模與乘客需求、票價之間的關係來評估均衡點。亦有基於先前就存在的延誤、潛在的延誤，用以評估航空公司延誤的特徵、延誤頻率、載客率和票價等，而天氣、機場容量和大眾運輸需求等屬性則是機場或航路空域範圍的特徵。

2.2 桃園國際機場營運現況與起降限制

桃園國際機場除民國 92 年因受 SARS 事件、民國 97-98 年間受全球金融海嘯影響而呈現負成長之外，到離架次均逐年成長。單以出境客運班次來說，民國 106 年全年達 118,898 架次，第 4 季成長率 3.88%。

民國 97 年後兩岸春節包機改為平日與周末包機，民國 98 年底兩岸直航開始、開放陸客來臺觀光、臺日韓三地定期航班增加、加上低成本航空出現等正面因素，以出境旅客人數來說，民國 105 年全年 20,957,498 人次，民國 106 年全年已達 22,260,711 人次，成長率 6.2%。圖 1 所列出境人數，係指桃園國際機場旅客出境人數不含轉機旅客；出境架次 (departure flights) 為經民用航空局核准，已報長期飛航計畫之出境定期航班 (不含加班機) 架次總和。

國際民用航空組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 及美國聯邦航空總署 (FAA) 都規定航機若同時起降，跑道間距需達 760 公尺 (2,500 呎) 以上^[8]；獨立起降部分，FAA 定義跑道間距達 1,300 公尺 (4,300 呎)，兩跑道即可獨立起降，但 ICAO 規定，跑道間距須達 1,525 公尺 (5,000 呎) 始可獨立起降。我國桃園國際機場其南北跑道中心線之間距實際為 1,505 公尺，在民用航空局要求採用較嚴格的 ICAO 標準之下，南北二平行跑道並無法獨立起降。此外，飛航管制作業採用分隔起降模式 (segregated mode)，而非混合起降模式 (mixed mode)，單一跑道降落和起飛，每小時的最高起降量 35 架次，雙跑道每小時的最高起降量可達 50 架次，2 小時不超過 90 架次。



圖 1 出境班次數與出境人數 (每千人) 趨勢圖

2.3 小結

綜上，以往準點率研究的文獻多以航空公司面向為主，有些研究主體的機場，具有先天的地理優勢而未將跑道或滑行道維護、航管延誤等機場空側相關變數納入研究；其模型建構與變數選擇亦為入境班機延誤的相關因素。而本研究以機場面向探討，空側部分 (airside) 離場航班準點率的決定因素、單跑道作業期間與準點率之關係，此議題在國際間的研究並不多見，而國內的研究則付之闕如。經過歸納與比較之後發現，天候因素、起飛機場、航管因素在多數準點率的研究裡均占有相當大的比例。

三、敘述統計

3.1 各項變數定義與來源說明

為分析影響準點率的因素，本研究實證迴歸模型設定如下：

$$Y = \alpha + \beta_1 * \text{NOTAM} + \beta_2 * \text{SIGMET} + \beta_3 * \text{ATC} + \varepsilon_i$$

其中，

Y ：準點率；

- α : 為模型的截距項 ;
 β_1 : 飛航公告次數的迴歸係數 ;
 β_2 : 顯著危害天氣的迴歸係數 ;
 β_3 : 航管因素的迴歸係數 ;
 ε_i : (error term) 殘差項。

1. 被解釋變數

準點率 (OTP, on-time performance), 依據美國運輸部運輸統計局的定義, 機場準點率為⁴ :

- 準點 – 出境航班於登機門後推時間 (push back), 在表定時間 15 分鐘之內 ;
延遲 – 出境航班於登機門後推時時間, 超過表定時間 15 分鐘之後。

2. 解釋變數

- (1) 飛航公告 (NOTAM, notice to airmen) : 由桃園國際機場航務處根據芝加哥公約第 15 條⁵ 中關於航空資訊服務的格式發出, 作用為通知飛行員該空域或機場的特別安排、臨時規定及運作程序的改變等。本項次數包含 2 項總和, 跑道因施工關閉次數、滑行道因施工關閉次數。
- (2) 顯著危害天氣警告 (SIGMET, significant meteorological information) : 臺北飛航情報區 (Taipei FIR) 內海峽中線以東全部空域, 如果出現或預期出現雷暴、熱帶氣旋、湍流、結冰等天氣及大氣現象, 影響飛行安全的惡劣天氣時, 機場氣象台觀測員便向航機發出的顯著危害天氣警告, 飛行員得以在操作上依此作為參考。
- (3) 航管因素 (air traffic control delay) : 桃園國際機場各家營運航空公司依據航機到離場作業程序填製之延誤報告, 可歸責航管因素之航班延誤次數。例如: 軍方因進行火炮射擊或訓練而管制空域、航管單位因隔離問題而進行的流量管制等等。

本實證研究資料來源如下: 飛航公告與航管因素, 取自桃園國際機場公司航務處飛航管理系統與民國 98-106 年桃園國際機場公司月報^[9]; 顯著危害天氣則由飛航服務總台臺北航空氣象中心提供, 數據整理後以季為單位呈現, 以民國 98 年 1 月 1 日至 3 月 31 日為第 1 季, 民國 98 年 4 月 1 日至 6 月 30 日為第 2 季, 以此類推至民國 106 年 12 月 31 日, 合計 36 季。

4. Airport On-time Performance :

On-time - The percentage of completed flights that departed the gate within (less than) 15 minutes of scheduled gate departure time. If a flight departs the gate 15 minutes or more after the scheduled departure time, it is considered a delayed departure.

Delayed - The percentage of completed flights that departed the gate 15 minutes or more after the scheduled departure time.

Definitions from : Bureau of Transportation Statistics, United States Department of Transportation

5. 芝加哥公約 :

Chicago Convention on International Civil Aviation, The document was signed on December 7, 1944, in Chicago by 52 signatory states. Annex15 - The Aeronautical Information Service (AIS) is a service established in support of international civil aviation, whose objective is to ensure the flow of information necessary for the safety, regularity, and efficiency of international air navigation.

3.2 資料分析

表 2 為觀察平均數、標準差、最小值與最大值，各變數的基本型態。被解釋變數準點率 OTP，最低值 83%，發生在 104 年第 3 季；98 年第 2 季是最大值為 97%，9 年來平均 91.4%。

表 2 變數敘述性統計量

	觀察數	平均數	標準差	最小值	最大值
準點率	36	0.9141667	0.0337533	0.83	0.97
飛航公告	36	109.1944	86.39935	12	353
顯著危害天氣警告	36	165.8611	109.6949	16	364
航管因素	36	197.5278	263.6132	0	939

解釋變數飛航公告 *NOTAM*，跑道因施工關閉次數、滑行道因施工關閉次數最少是 98 年第 4 季僅 12 次；106 年第 3 季，達到歷年來最高 353 次。

解釋變數 *SIGMET*，顯著危害天氣警告次數最少是在 100 年第 1 季 16 次；最多則是在 101 年第 3 季，共 364 次。根據中央氣象局颱風資料庫查證，當年 7、8、9 月合計有 7 個發佈警報的颱風，編號 201205 泰利、201206 杜蘇芮、201209 蘇拉、201211 海葵、201213 啟德、201214 天秤、201217 杰拉華。

解釋變數 *ATC*，航管因素之航班延誤次數最少是在 99 年第 3 季，次數 0；最多次則是在 104 年第 2 季，合計 939 次。

在單跑道作業期間 (103-104 年)，觀察各解釋變數在數量上的變化 (如圖 2)：

- (1) 航管因素的延誤次數相較於其他兩變數特別多，可能的原因是基於飛航安全的考量，在單跑道作業期間的諸多限制下，航機之間隔離加大；104 年 1 月 28 日至 104 年 3 月 6 日恢復雙跑道運作，航管因素的延誤次數有明顯下降，但相較於單跑道作業之前，次數仍然偏高。
- (2) 飛航公告發佈次數的差異在 103-104 年維持一般；104 年第二季後則因為道面整建計畫關閉北跑道後，有持續增加的趨勢。
- (3) 顯著危害天氣次數部分，由於每年 2-4 桃園國際機場有平流霧、7-9 月為颱風季節，每年變化皆大致呈規則性起伏。

103 年年初南跑道 (RWY 05R/23L) 關閉施工開始後，準點率以近垂直 90 度的方向往下掉落，104 年年初準點率上升幅度明顯回復到一般水準，應該是因為春節期間各航空公司，均申請加班機或包機以紓解返鄉旅客的需求，所以當時在社會大眾的期望與長官的要求下，南跑道加速工程進度並提前於 104 年 1 月 28 日啟用。同年 3 月 16 日北跑道 (RWY 05L/23R) 關閉後，第 3 季準點率再度下降至 82.78% 達到最低點。104 年 12 月 24 日北跑

道開放使用，單跑道作業結束，恢復正常雙跑道起降，準點率慢慢開始上升，106 年第 4 季已達 92.28%。

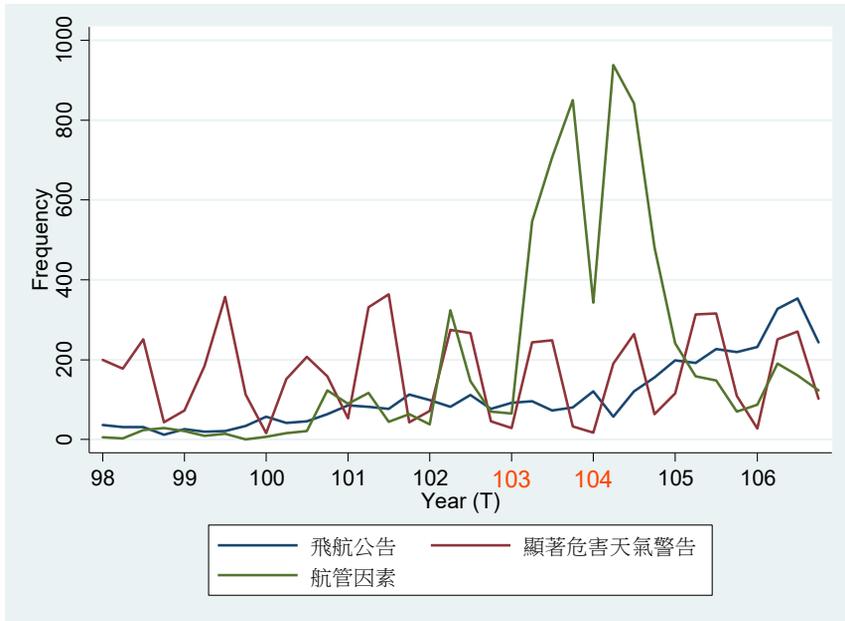


圖 2 各解釋變數線形圖

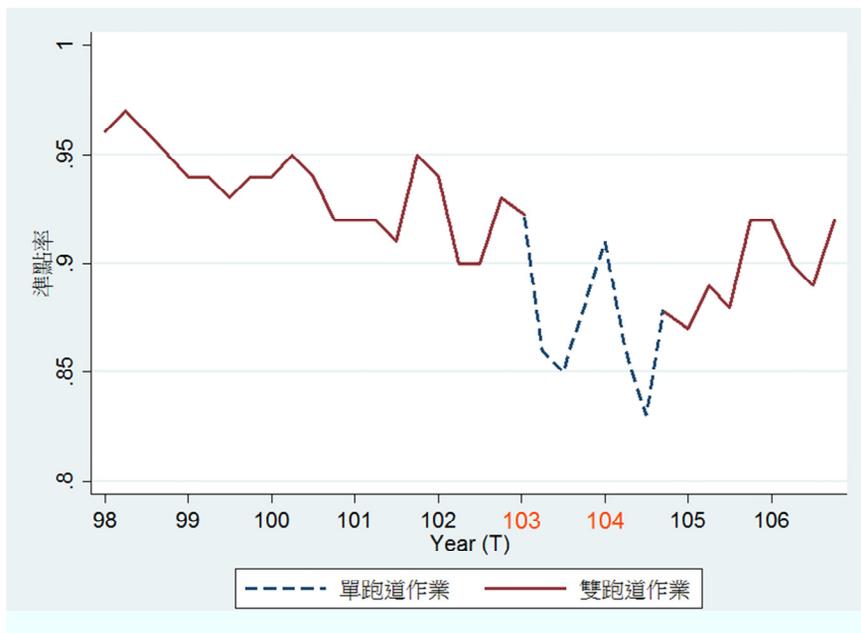


圖 3 單跑道作業與雙跑道作業期間準點率之變化

四、研究方法與實證結果

本研究以 Stata14.1 與 Eviews9.5 作為分析及驗證工具，就估計的結果分為 3 個部分進行分析與討論，4.1 為實證迴歸模型的分析與結果，4.2 以標準化後縱橫資料做迴歸分析，並用 F 檢定與 Hausman Test 來檢定固定效果與隨機效果何者較為適合。4.3 則進一步針對單跑道作業情形，採用 Chow Test 進行檢定。

4.1 實證迴歸分析

以迴歸分析方法將所要研究的變數區分為自變數與應變數之後，建立函數模型，運用獲得的資料去估計模型中參數並做預測的方法，用來分析一個或一個以上自變數與應變數之間的數量關係，藉此了解當自變數變動時，造成應變數的反應水準。

在相關分析中，如果相關係數顯著時，僅能說明這兩個變數項之間具有一定的關聯程度，但並不必然代表有因果關係的存在，相關分析的目的在於描述兩個連續變數項的線性關係；而迴歸則基於變項之間的線性關係，進一步分析變項之間的預測關係，最後研究目的是在於透過迴歸方程式的建立以自變數 (X_k) 預測另一個應變數 (Y)。

表 3 相關係數矩陣

	準點率	飛航公告	顯著危害天氣警告	航管因素
準點率	1			
飛航公告	-0.40158*	1		
顯著危害天氣警告	-0.30534	0.08614	1	
航管因素	-0.82845*	0.07590	0.07184	1

表 3 以皮爾森相關係數矩陣 (Pearson's correlation coefficient)，衡量變數間線性關聯性的高低程度，若自變數之間有高度相關性，相關係數絕對值介於 0.80 至 0.99 之間，則需要進行變異數膨脹因素 (variance inflation factor, VIF) 檢定。

一般而言，當自變項之間的相關性太高的時候，會導致多元共線性 (multi-collinearity) 的產生，造成迴歸分析的情境困擾，如果有嚴重的共線性問題，則模式之參數將無法完全被估計出來。而容忍值 (tolerance) 越大，則表示共線性問題越小，本研究進一步以 VIF 檢視整體迴歸模型是否具共線性問題，結果如表 4。

由此檢定得知飛航公告、顯著危害天氣警告、航管因素 3 個自變數之變異數膨脹係數均為 1.01，容忍值 (tolerance, $1 - R^2$) 均超過 0.98 以上，表示本研究模型僅存在非常微弱的共線性問題。

表 4 VIF 共線性檢定

Variable	VIF	Tolerance	R-Squared
飛航公告	1.01	0.9877	0.0123
顯著危害天氣警告	1.01	0.9883	0.0117
航管因素	1.01	0.9899	0.0101
Mean VIF	1.01		

White (1980) 提出殘差異質性檢定法，檢驗殘差項是否違反多元迴歸模型中，殘差項之變異數為均值的基本假設。當殘差項有異質性時，該迴歸模型即失去最有效率之特性 (most efficient)。本研究殘差異質性檢定如表 5 所示：

表 5 殘差異質性檢定 (White's General Heteroscedasticity)

Cameron & Trivedi's decomposition of IM-test			
Source	Chi2	Df	p
Heteroskedasticity	11.32	9	0.2546
Skewness	3.12	3	0.3733
Kurtosis	1.06	1	0.3023
Total	15.50	13	0.2771

檢定結果： $p > 0.05$ ，不拒絕 H_0 ：同質變異 (homoscedasticity)，表示殘差無異質性，支持殘差項沒有變異數異質性現象，符合迴歸分析的基本假設。

以多元迴歸模型來探討各項因素影響出境航班的準點率，同時檢視因跑道、滑行道維護而發佈飛航公告次數、顯著危害天氣發佈次數、航管因素延誤次數等自變數對準點率的影響程度，各項數值整理如表 6，調整後 R^2 為 83.59%，具有統計量的顯著性，表示模型具有解釋能力。

表 6 實證迴歸結果

Response variable	Coefficient	Std. Err.	t	P-Value
飛航公告 (千次)	-0.1261	0.0000269	-4.68	0.000***
顯著危害天氣警告 (千次)	-0.0680	0.0000212	-3.21	0.003***
航管因素 (千次)	-0.1009	8.81e-06	-11.45	0.000***
Constant	0.9591406	0.0051012	188.02	0.000***
Observations	36			
R-Squared	0.8499			
Adj R-Squared	0.8359			

由於無法從上述迴歸模型看出單跑道作業與雙跑道作業的差異，所以本研究再以縱橫資料迴歸方式，探討兩種跑道作業模式對準點率的影響。

4.2 縱橫資料迴歸 (Panel Data Regression)

縱橫資料 (panel data) 連結橫斷面 (cross section) 與時間序列 (time series) 資料的形式，相較於一般的資料更能提供更完整的訊息，除了擁有橫斷面資料的異質特性外，並具備時間序列的動態性質。

在統計分析上，以混合資料 (pooled data) 採用最小平方方法估計，可能產生偏誤的估計量；固定效果模型可以同時考慮橫斷面及時間序列的資料，允許各個變數間有差異性的存在，使估計結果較有效率。隨機效果模型可將「時間固定效果」或「個別固定效果」呈現於截距上，著重於資料整體的關係，而非個別變數的差異，意即假設個體間的截距項為隨機產生，以隨機變數型態的來表示每個橫斷面之間不同的結構。一般最簡單的方法是以「樣本有無透過抽樣過程」來分辨，若樣本沒有透過抽樣過程選取或樣本即是母體的情況下，則採用固定效果較好，而若是透過抽樣過程選取，則以隨機效果較佳。

以固定效果模式探討兩種跑道作業方式，應變數與自變數之間的關係，假設兩種跑道作業期間迴歸線的斜率相同，分析存在一項固定常數，不因時間的變動而改變，但兩種跑道作業方式之間可以有差異性的存在，有不同的特定常數，而以固定截距項來代表橫斷面兩種跑道作業方式之間的不同結構。隨機效果模式著重於母體整體的關係，而不是單跑道作業或雙跑道作業的個別差異，截距項為一隨機變數，代表每個橫斷面之間不同的結構。

本研究先以 F 檢定決定使用 OLS 模型還是固定效果模型，倘若檢定的結果是固定效果模型，此時再使用 Hausman (1978) 提出的 Hausman Test 來進行檢定固定效果模型或隨機效果模型何者較適合並進行實證分析。當誤差項的變異數與解釋變數間不具有相關性，應採用固定效果模型。反之，誤差項的變異數與解釋變數間若具有相關性，應採用隨機效果模型為佳。

為了去除自變量的單位尺度，得到更精確的比較，在統計學中運用迴歸分析得出標準化的估計值稱為「標準化迴歸係數」(standardized beta coefficients of independent variables) 或 β 係數，意即自變量每增加一個標準差，一個應變量會有多少標準差。 β 係數可以作為自變項之間對應變項的解釋力之比較值， β 係數的絕對值愈大，表示該自變項對應變項的影響力愈大。

Panel Data 迴歸實證結果顯示，F 檢定統計量為 6.49， $p = 0.0160 < 0.05$ 故拒絕虛無假設，所以固定效果模型比混合迴歸 (pool OLS) 模型適當。而 Hausman 檢定來決定固定效果模型與隨機效果模型之間，何者為本資料最適估計方式，結果在 5% 的顯著水準下 $p = 0.0302 < 0.05$ ，未觀測到的個別誤差項 (μ_i) 與迴歸係數 (X_b) 沒有相關性，應採固定效果模型較為適當。

由表 7 中可看出無論是固定效果或隨機效果，發佈飛航公告次數、顯著危害天氣、航

管因素三者對準點率的解釋力都是十分顯著的。此外，其他各項具解釋力的自變數與應變數的相關性，也與最小平方法的預期走向相同，在考慮兩種跑道作業方式的差異後，準點率仍受到發佈飛航公告次數、顯著危害天氣、航管因素三者的影響。

縱橫資料的固定效果模型為：

$$OPT_{it} = 0.9566317 - 0.2965105 * NOTAM_{it} - 0.2378669 * SIGMET_{it} - 0.6646691 * ATC_{it} + \varepsilon_{it}$$

表 7 標準化 Panel Data 迴歸實證結果

被解釋變數	準點率			
	Coefficient		Coefficient	
飛航公告	-0.2965105***	(0.0644839)	-0.3227325***	(0.0689028)
顯著危害天氣警告	-0.2378669***	(0.0639848)	-0.2209184***	(0.0688820)
航管因素	-0.6646691***	(0.0799340)	-0.7880822***	(0.0688245)
F test	6.49 p = 0.0160 < 0.05			
Hausman Test	8.93 p = 0.0302 < 0.05			
Number of obs	36		36	
Methods	Fixed Effects**		Random Effects	

註：*、**及***分別表示 10%、5%及 1%顯著水準下具有顯著性，括號內為 Std. Err.。

發佈飛航公告次數對準點率預測係數 β 為 -0.2965105 ， $t = -4.60$ ($p < 0.05$)；表示因跑道、滑行道因施工關閉而發布飛航公告的次數每增加 1 標準差，準點率就減少 0.2965105 標準差。顯著危害天氣對準點率預測係數 β 為 -0.2378669 ， $t = -3.72$ ($p < 0.05$)；表示自變數顯著危害天氣每增加 1 標準差，準點率就減少 0.2378669 標準差。航管因素延誤對準點率預測係數 β 為 -0.6646691 ， $t = -8.32$ ($p < 0.05$)；表示航管因素延誤次數每增加 1 標準差，準點率就下降 0.6646691 標準差。

因跑道、滑行道維護而發佈飛航公告次數與準點率呈負向變動且在 1%水準下顯著，意即減少關閉跑道或滑行道施工次數，準點率增加，此結果支持本研究預期觀點。第 2 項因素顯著危害天氣發佈次數亦與準點率呈負向變動且在 1%水準下顯著，大致上與本研究預期以及過去文獻實證結果相符。而航管因素延誤次數也與期待結果相同，與準點率呈負向變動且在 1%水準下顯著。

4.3 結構穩定性之檢定方法 (Chow Test)

在計量分析模型發展中，利用 Chow test 作為檢定係數穩定性的主要方法，其意義在於判斷某一分割點前半段與後半段迴歸模型的係數是否一樣，迴歸模型是否產生結構性改

變。假設某重大事件可能對迴歸模型造成影響，則以該事件發生之時間點為分割點，將資料加以分段，以前後兩段不同期間迴歸分析之殘差平方和做為衡量基礎依據而進行檢測。

為了了解本研究迴歸模型是否因為單跑道作業而產生結構性變化，將以 Chow test 進行測試並說明如下：假定因跑道、滑行道維護而發佈飛航公告次數、顯著危害天氣發佈次數、航管因素延誤次數、是影響準點率之來源，並將研究觀察變化期的時間點定在單跑道作業開始 103 年 2 月 19 日 (第 21 季)。單跑道作業之 Chow test，前期為第 13 季到第 20 季，合計 8 季；後期為第 21 季到第 36 季，合計 16 季。

$$\text{前期：} Y_1 = \alpha_1 + \beta_{1a} X_{1a} + \beta_{1b} X_{1b} + \beta_{1c} X_{1c} + \varepsilon_1$$

$$\text{後期：} Y_2 = \alpha_2 + \beta_{2a} X_{2a} + \beta_{2b} X_{2b} + \beta_{2c} X_{2c} + \varepsilon_2$$

其中，

Y_1 ：前期準點率；

X_{1a} ：前期發佈飛航公告次數；

X_{1b} ：前期顯著危害天氣發佈次數；

X_{1c} ：前期航管因素延誤次數；

Y_2 ：後期準點率；

X_{2a} ：後期發佈飛航公告次數；

X_{2b} ：後期顯著危害天氣發佈次數；

X_{2c} ：後期航管因素延誤次數。

依變異數分析，F 檢定統計量的計算方法為：

$$\sim F(k, F_{k, T-2k} = \frac{[RSS_n - (RSS_{n1} + RSS_{n2})]/k}{(RSS_{n1} + RSS_{n2})/(n1+n2-2k)} N-2k)$$

其中，

RSS_n ：前期與後期之殘差平方和；

RSS_{n1} ：前期年殘差平方和；

RSS_{n2} ：後期年殘差平方和；

K ：為迴歸線的自變數數目 (含常數項)；

$n1$ ：前期的觀察個數；

$n2$ ：後期的觀察個數。

當上述檢定統計量接近於零時，表示前後期間變數的迴歸誤差加總與全期變數誤差值相近，前後兩期間係數值非常接近。假若兩者差距超過 F 分配的臨界值，表示前後期間變數的迴歸誤差加總異於全期。前後期間係數估計結果存在顯著差異，則係數相等的虛無

假設被拒絕，該模型係數會隨時間改變。統計檢定如下：

若 $F \leq F_{0.05}$ ，則不拒絕 H_0 ，表示迴歸模型結構穩定，即單跑道運作，並未對準點率之迴歸模型產生顯著之影響。

若 $F > F_{0.05}$ ，則拒絕 H_0 ，顯示迴歸模型結構不穩定，即單跑道運作，對準點率之迴歸模型產生顯著之影響。

表 8 前期 (101.1.1~102.12.31 共 8 季) 迴歸結果

	Coefficient	Std.Err.	t	P-Value
飛航公告 (千次)	0.1172	0.0003352	0.35	0.744
顯著危害天氣警告 (千次)	0.0709	0.0000387	-1.83	0.141
航管因素 (千次)	0.0820	0.0000566	-1.45	0.221
Constant	0.9326058	0.0334019	27.92	0.000***
Observations	8			
R-Squared	0.7078			
Adj R-Squared	0.1886			

註：*、**及***分別表示 10%、5%及 1%顯著水準下具有顯著性

表 9 後期 (103.1.1~106.12.31 共 16 季) 迴歸結果

	Coefficient	Std.Err.	t	P-Value
飛航公告 (千次)	0.0124	0.0000557	0.22	0.827
顯著危害天氣警告 (千次)	-0.1318	0.0000325	-4.05	0.002***
航管因素 (千次)	-0.0646	0.0000157	-4.13	0.001***
Constant	0.9307287	0.0134516	69.19	0.000***
Observations	16			
R-Squared	0.8484			
Adj R-Squared	0.8105			

註：*、**及***分別表示 10%、5%及 1%顯著水準下具有顯著性

$$RSS_n = 0.003308422$$

$$RSS_{n1} = 0.000668486$$

$$RSS_{n2} = 0.001864961$$

$$F = \frac{[RSS_n - (RSS_{n1} + RSS_{n2})]/k}{(RSS_{n1} + RSS_{n2})/(n1+n2-2k)} = 4.89436$$

Chow Test 檢定： $F = 4.89436 > F_{0.05}(k, n-2k) = F_{0.05}(4, 16) = 3.0069$

上述 Chow test 檢定後，拒絕虛無假設，意即在前期與後期迴歸模型之間，產生結構上的顯著差異；單跑道運作，對準點率之迴歸模型具有顯著之影響。由前後期迴歸結果發現，前期 3 個解釋自變數 P 值為 0.744、0.141、0.221，皆大於 0.05 與應變數準點率無相關；而後期迴歸結果卻有顯著危害天氣與航管延誤次數此兩者 P 值為 0.001、0.000 皆小於 0.001，與應變數準點率高度相關。

表 10 全期迴歸結果

	Coefficient	Std.Err.	t	P-Value
飛航公告 (千次)	-0.0785	0.0000344	-2.28	0.033**
顯著危害天氣警告 (千次)	-0.0913	0.0000212	-3.99	0.001***
航管因素 (千次)	-0.0892	0.00001	-8.91	0.000***
Constant	0.9591406	0.0051012	126.16	0.000***
Observations	24			
R-Squared	0.8399			
Adj R-Squared	0.8159			

註：*、**及***分別表示 10%、5%及 1%顯著水準下具有顯著性

4.4 小結

研究結果說明，5%顯著水準下，跑道、滑行道關閉施工次數、航管延誤因素、特殊危害天氣均顯著負向影響起飛航班準點率。三者相較，又以航管延誤的影響最嚴重；其次為跑道、滑行道關閉施工因素；顯著危害天氣則是三者中影響最小的因素。

經由 Chow test 檢定後則發現，以 103.2.19 單跑道運作開始日期為結構性變化的檢核點，對準點率之迴歸模型則確實產生結構性的變化。單跑道作業並非為正常的運作模式，運作期間訂有特別嚴苛條件限制⁶，實際運作上因為航管在安全的考量，必須使航機之間有距離、時間或高度的隔離，單位時間內跑道容量一旦減縮，航機起飛時間因為排序的問題，自然也會受到影響。再者，由 98-106 年解釋變數線形圖中得知，桃園國際機場顯著危害天氣發生次數皆於每年 5-8 月達到當年度最高次，而且有季節性和周期性的型態，與文獻回顧裡，奧蘭多國際機場由每日抵達延誤平均數中的發現一致，代表顯著危害天氣發生

6. 摘錄部份 102.10.8.單一跑道運作緊急應變作業程序如下：

使用 05C/23C 跑道之限制規定條件及措施：

- (1) 05C/23C 跑道不應做為增加之跑道，其唯一功能為具限制規定條件之起飛跑道。
- (2) 僅限目視天氣 (VMC) 使用。
- (3) 僅限日間 (DAYTIME) 使用。
- (4) 限定航空器由 05C 端起飛。

次數亦是影響準點率的重要因素，毫無疑問。

本研究嘗試推論，當 103 年 2 月 19 日單跑道作業開始後，關閉跑道與滑行道而發佈飛航公告的次數相對減少，航管延誤次數佔準點率相關因素的比例上升，同時後期解釋變數 t 值之絕對值也比前期來得高。統計資料顯示，102 年第 2 季航管因素延誤次數為 324 次，103 年同季 546 次，104 年同季則高達 939 次。故實證結果說明，航管因素所造成延誤為在樣本期間內準點率下降的決定因素。

五、結論與建議

5.1 結論

同前言所述，機場的整個生產過程包括了投入以及產出部分，供給面是為了生產服務而投入的生產要素，例如：跑道容量、停機坪數目、航廈面積等；需求面則是對於服務的使用或消費，例如：旅客人數、貨運噸數，以及起降架次等。每個機場的營運量由空間與時間組成，跑道容量亦有條件限制，即在可忍受的延滯條件下，每單位時間內所能供飛機起飛或降落之最大數量，所以在空間不變而需求增加的情況下，增加時間才能滿足需求。

OAG 資料顯示，2017 年排名全球前 50 大的主要機場中無一準點率達到 90%，也表示出主要機場面臨營運上的挑戰。機場規模越大，客流量越多，各項設施的使用效率就會面臨更大的考驗，飛機準點起飛的壓力就更大。準點率是機場與航空公司互相合作的成果，兩者經過配合和努力應該就能夠減少航班延誤。對於主要機場而言，規模越大則帶來擁擠的航班與管理上的複雜性，準點率就會受到嚴重影響。此外，若為了配合航空公司營運績效表現，在密集的時間帶上持續地核准增加額外非定期航班，如此一再延遲平日固定設施的維護作業、縮短養護期間、貿然壓縮工期而最後導致必須執行單跑道作業的話，機場準點率的下降即無可避免。

隨著全球競爭化來臨，如何提升產業競爭力已成為許多國家施政的重要策略，而準點率是航空運輸產業的競爭力來源，如何減少班機延誤則是一項與航空運輸價值相關的系統工程，準點率提升並非易事。各家航空公司為了建立優良形象、提高市場佔有率，莫不以極大化飛機使用率為手段、最大化利潤為目標。在嚴格的法規及規範、預期運量增加的情形下，依交通部「臺灣桃園國際機場園區綱要計畫」^[10]適度發展情境預測（自 2009~2030 年航機起降架次之年均成長率為 5.9%），2030 年第 3 跑道完工後，約有 46.7 萬起降架次，換成每日起降則高達 1,280 架次。若要保持一定的準點率之上，需要在空間與時間上作適當取捨，安全與效率兼顧，才能使桃園國際機場更加進步。

5.2 建議

以往文獻皆著眼於航空公司面向，評估航空公司延誤的特徵、延誤頻率、載客率和票

價等。在不偏離現實太多的情況下，除了以空側部分相關變數進行準點率之探討外，並加入單跑道作業期間的研究，為本文與其他研究不同之處。後續相關研究建議如下：

1. 可加入停機位數目、包含航空器之大小、相鄰停放限制、飛地安事件發生次數、地勤公司作業裝備與人力等相關參數，使模型更符合實務。
2. 受限於其他機場資料取得問題，若是有相同區域機場的對照研究，相信可以增加本文說服力，更能完整呈現機場準點率的影響因素。

參考文獻

1. Ball, M., Barnhart, C., Dresner, M., Hansen, M., Neels, K., Odoni, A., Peterson, E., Sherry, L., Trani, A., and Zou, B., “Total Delay Impact Study: A Comprehensive Assessment of the Costs and Impacts of Flight Delay in the United States”, National Center of Excellence for Aviation Operations Research, 2010.
2. 交通部，「桃園國際機場道面整建及助導航設施提升工程計畫」(第2次修正版)，民國104年12月30日。
3. 蔡世昌，「航空網路中航班延誤之因果模式」，國立交通大學運輸研究所碩士論文，民國101年。
4. 江明哲，「資料探勘技術應用於航空業航班延誤分析—以C公司為例」，國立中央大學資訊管理學系碩士論文，民國104年。
5. 周昀徵，「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」，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文，民國105年。
6. Bai, Y., “Analysis of Aircraft Arrival Delay and Airport On-Time Performance”, University of Central Florida, 2006.
7. Sternberg, A., Soares, J., Carvalho, D., and Ogasawara, E., “A Review on Flight Delay Prediction”, Cornell University, 2017.
8. Federal Aviation Administration, *Airport Capacity Profiles*, May 2014.
9. 桃園國際機場股份有限公司，「桃園國際機場公司月報」，https://www.taoyuanairport.com.tw/company_ch/budget，民國107年。
10. 交通部，臺灣桃園國際機場園區綱要計畫，民國100年。