

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

考慮供給不確定性之航空貨運營收管理



Revenue Management for
Air Cargo Space with Supply Uncertainty

研究生：許文秀

指導教授：黃寬丞 教授

中華民國 93 年 7 月

考慮供給不確定性之航空貨運營收管理

Revenue Management for Air Cargo Space with Supply Uncertainty

研究生：許文秀

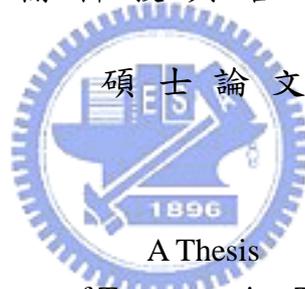
Student：Wen-Hsiu Hsu

指導教授：黃寬丞

Advisor：Kuan-Cheng Huang

國立交通大學

運輸科技與管理學系



Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

July 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年七月

考慮供給不確定性之航空貨運營收管理

學生：許文秀

指導教授：黃寬丞

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

在國際貿易自由化與全球供應鏈的發展下，航空貨運在過去數十年蓬勃發展，尤其在經過美國 911 事件與 SARS 風暴後，目前航空貨運之成長幅度已超越航空客運之成長。此外，自從美國航空公司利用營收管理成功地提高營收後，營收管理於航空客運業已是一項十分普及的技術。有鑑於此，本研究希望能將營收管理應用於航空貨運的艙位規劃上，將有限的艙位妥善使用，以增加航空公司的期望總收益。

由於航空貨運的艙位容量往往會受到多種因素之影響，如航線及氣候等，其供給量並不確定，同時必須處理因而衍生的貨物被拒登機情況。此外，基於航空貨運需求的特性，必須採用適當的隨機序程來模擬訂位需求，以求接近航空貨運業的真實狀況。故本研究以既有研究為基礎，建立航空貨運業艙位之動態規劃模式，使航空公司在面臨需求與供給雙方面之不確定性時，仍能夠經由有效地進行艙位控管配置，達成總收益最大化的目標。

本研究依據台灣地區某航空公司的實際營運與作業資料，對模式進行實例的驗證，並就模式中的二項重要因素「供給不確定性」與「被拒登機補償」進行敏感度分析。由敏感度分析結果發現，當供給相對穩定時，被拒登機補償的提高對於期望總收益之影響有限，但當賠償倍數固定時，供給不確定性的增加對於期望總收益的影響極為顯著。因此，航空公司若欲透過營收管理提高其總收益，應從有效地掌握各航班的艙位供給量開始。

Revenue Management for Air Cargo Space with Supply Uncertainty

student : Wen-Hsiu Hsu

Advisors : Dr.Kuan-Cheng Huang

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Due to world trade liberalization and global supply chain, air cargo industry has been booming for the past several decades. Particularly, after the 911 tragedy and the outbreak of SARS, the growth rate of air cargo has surpassed that of air passengers. On the other hand, since American Airlines successfully applied revenue management to raise its profit, revenue management has become a common technique in air passenger business. Therefore, this study is aiming to apply the revenue management concept to the planning and control of air cargo space, so the airlines can fully utilize the limited cargo space to increase the expected revenue.

However, due to the factors such as route assignment and weather condition of air routes, the supply of air cargo space of a specific flight is uncertain. Meanwhile, denied boarding problems caused by supply uncertainty needs to be addressed carefully. Moreover, to take the real situations into consideration, it is very important to apply an appropriate random process to model the special characteristics of air cargo demand. Based on former studies, this study develops a dynamic programming model to assist the airlines to cope with the uncertainty arising from both the demand side and the supply side. Thus, the airlines can achieve the goal of profit maximization by effective planning and control over the limited cargo space.

According to the numerical examples base on the actual operation data of a Taiwan's international airline, this study verifies the model and performs the sensitivity analysis for two important factors, supply uncertainty and compensation for denied boarding. The sensitivity analysis shows that when supply is quite stable, the expected revenue caused by the increase of the compensation for denied boarding is very limited. However, when the compensation is fixed, the expected revenue is significantly influenced by the increase of supply uncertainty. Therefore, if Airlines want to improve their total revenue, they should start with controlling the capacity of each flight effectively.

致 謝

本論文之所以得以付梓，首先要感謝的是黃寬丞老師的悉心指導，在研究所的這段期間給予我觀念的啟迪、研究方法的傳授，並且在生活方面也給予許多建議。尤其是一開始確立論文題目時，給予我許多的指引，讓我可以順利的完成我的碩士論文。其次要感謝兩位口試委員，系上的許巧鶯老師與交研所的汪進財老師，在論文口試期間撥冗細審，給予我許多的寶貴的意見，並提醒我許多疏漏的地方。還要感謝系上的張新立老師與張隆憲老師，在論文進度報告研討時給予指正與建議。

研究室的夥伴們，清貴、佳琴、玫豪、建名、雯瑋與雅萍，感謝你們從旁與我討論，協助我解決許多大小問題。還有謝謝與我渡過六年的室友兼同學們，欣潔、依潔與惠玉，當我在交大的日子裡，陪著我共度許多大小歡笑與難題，因為你們使我在交大的生活更圓滿。其他還有許許多多可稱為「本研究室之友」的同學及學長們，鵬先、小宇、大中、建名、明穎……族繁不及備載，謝謝你們陪伴我在研究室的日子。此外，特別感謝貴億學長，給予我在生活上與學業上許多的建議與關懷。

最後，最要感謝的是我的雙親與哥哥，因為有你們在背後默默的支持著我，所以才能使我順利完成學業與論文，真的是非常的謝謝你們。

僅將本論文獻給所有感謝的人—那些讓我在交大這六年來，過得更充實且愉快的朋友們，願能將這份榮耀與你們分享。

許 文 秀 謹誌
中華民國九十三年七月 于風城交大

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
致 謝	iii
目 錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究範圍與目的	4
1.2.1 營收管理之基本特性	4
1.2.2 航空貨運之營收管理	5
1.2.3 小結	6
1.3 研究方法與流程	7
第二章 文獻回顧	10
2.1 航空客運之收益管理	10
2.1.1 靜態機位存貨管理	11
2.1.2 動態機位存貨管理	13
2.2 貨運之收益管理	16
2.3 收益管理其他相關問題	17
第三章 模式構建	19
3.1 數學模型之初步分析	19
3.2 基本假設	19
3.3 貨運艙位之供給不確定性	20
3.4 動態之貨運艙位管理模式	21
3.4.1 模式使用符號定義	21
3.4.2 單艙位之艙位管理模式	22
3.4.3 多艙位之艙位管理模式	23
第四章 實例驗證	25
4.1 供給不確定性對模式的影響	25
4.2 實例之假設條件分析	29
4.3 實例期望總收益之分析	31
4.3.1 被拒登機賠償參數之敏感度分析	32
4.3.2 供給不確定性參數之敏感度分析	33
4.4 實例艙位控管政策分析	35
4.4.1 訂位規模對於艙位控管之影響	35

4.4.2 供給不確定性與被拒登機賠償對於艙位控管政策之影響	38
4.5 小結	41
第五章 結論與建議	42
5.1 結論	42
5.2 建議	43
參考文獻	44



表目錄

表 1.1	航空業營運量指數	2
表 1.2	航空公司可能面臨損失種類	5
表 4.1	Lee&Hersh 範例一之費率艙等	25
表 4.2	Lee&Hersh 範例一之各艙等需求機率	25
表 4.3	實際艙位供給之機率	27
表 4.4	實際艙位供給與其被拒登機臨界點	27
表 4.5	各費率艙等假設條件	31
表 4.6	被拒登機賠償倍數與供給分配標準差對期望總收益之影響	32



圖目錄

圖 1.1	世界航空貨運成長趨勢	1
圖 1.2	各地區 2001-2021 年航空貨運成長趨勢比較	2
圖 1.3	各地區 2021 年航空貨運預估佔有率比較	2
圖 1.4	航空貨運進出口相關單位示意圖	3
圖 1.5	研究流程圖	8
圖 1.6	研究架構圖	9
圖 2.1	巢式艙位配置方式	11
圖 2.2	航空客運邊際收益曲線	12
圖 2.3	Kasilingam 收益管理模式	17
圖 3.1	被拒登機發生的位置	20
圖 4.1	單席訂位中決策時段 n 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$	26
圖 4.2	單席訂位中剩餘機位 s 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$	26
圖 4.3	考慮供給不確定性之單席訂位中決策時段 n 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$	28
圖 4.4	考慮供給不確定性之單席訂位中剩餘艙位 s 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$	28
圖 4.5	艙位供給量機率分布	30
圖 4.6	多席訂位出現機率	30
圖 4.7	被拒登機賠償對期望總收益之影響	32
圖 4.8	供給不確定性對期望總收益之影響	34
圖 4.9	各時期的訂位政策	38
圖 4.10	不同供給分配標準差與被拒登機賠償倍數之訂位政策	41

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

航空貨運在過去數十年蓬勃發展，根據世界航太製造業的波音公司所發表的「世界航空貨運預測」(World Air Cargo Forecast) [25]，估計從 2001 年至 2021 年廿年間，世界航空貨運每年平均將以 6.4% 的比率成長，運量從 2001 年的每年 1404 億延噸—公里 (Revenue Tonne-Kilometer, RTK)，成長到 2021 年每年 4835 億延噸—公里，也就是成長幅度將超過三倍 (如圖 1.1)。尤其，亞太地區成長量將最為突出，相關的航線，如中國內陸航空貨運預計每年的成長率將超過 10%，亞太區域內貨運運量之年平均成長亦高達 8.4%。另外，以至佔世界航空貨運量第一、二位之亞太—北美航線及亞太—歐洲航線，成長率亦可達到 7.5% 及 7.0% (如圖 1.2 及圖 1.3)。

波音公司另外於 2002 年 11 月的《2002 年中國市場預測》[26] 中指出，未來 20 年內，中國國內航空貨運市場將以 10.3% 的速度增長。其中，亞太地區內部航空貨運市場的年增長率將為 8.4%，超過亞洲至歐洲和亞洲至美洲航空貨運市場的成長。按照此成長力趨勢，到 2021 年時亞太相關的航線的航空貨運量，佔全球航空貨運量的比重將由 2001 年的 45% 成長到 55% (如圖 1.3)。

以我國而言，航空貨運業近十年來的發展一直穩定上揚。依據交通部統計處資料[27] (如表 1.1) 可知，目前航空貨運的成長幅度已超越航空客運之成長狀況；尤其在經過美國 911 事件與 SARS 全球風暴後，航空客運業營運方面委實受到重大打擊。反觀航空貨運業，由於國際貿易自由化與全球供應鏈觀念普及，使得國內對於航空貨運的需求與日俱增。近年來更在政府積極推動貨運轉運中心計畫以及台北貨運站民營化的影響下，國內貨運業者均紛紛拓展航空貨運新業務，尋找其在貨運市場定位的利基。

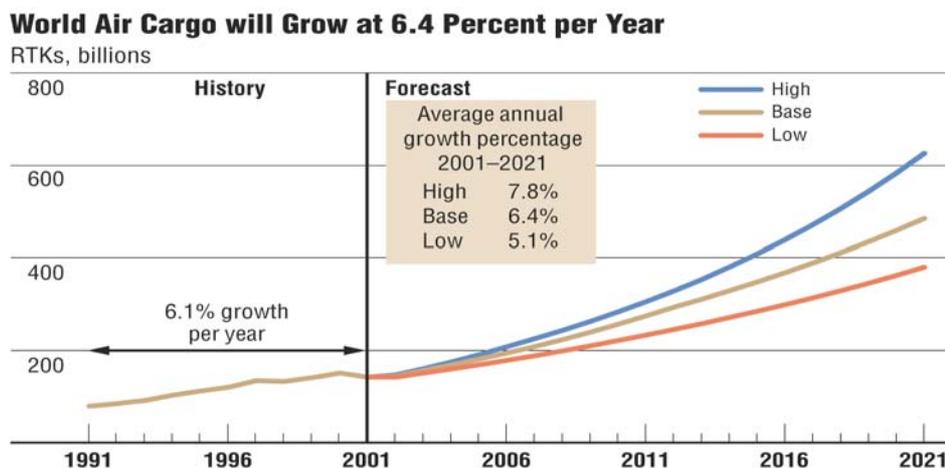


圖 1.1 世界航空貨運成長趨勢

資料來源：[25]

Asian Cargo Markets Will Continue to Lead the Industry...

Growth, percentage

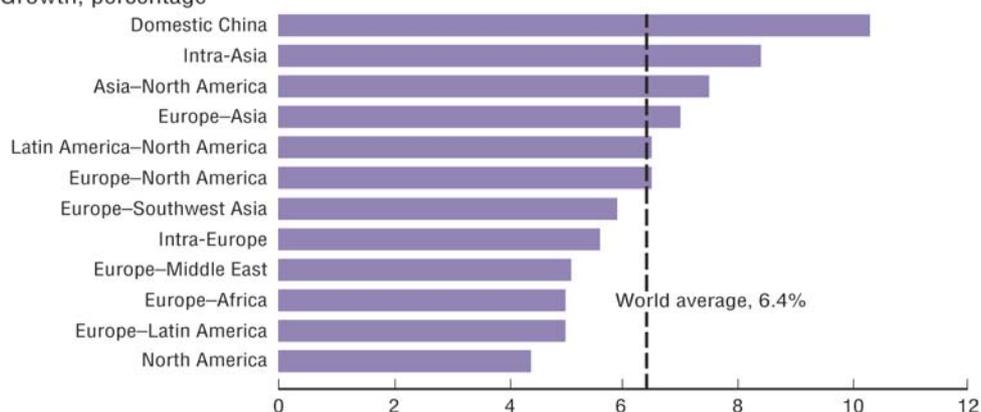


圖 1.2 各地區 2001-2021 年航空貨運成長趨勢比較

資料來源：[25]

...and Increase Their Share of World Cargo

Share of world total market, percentage

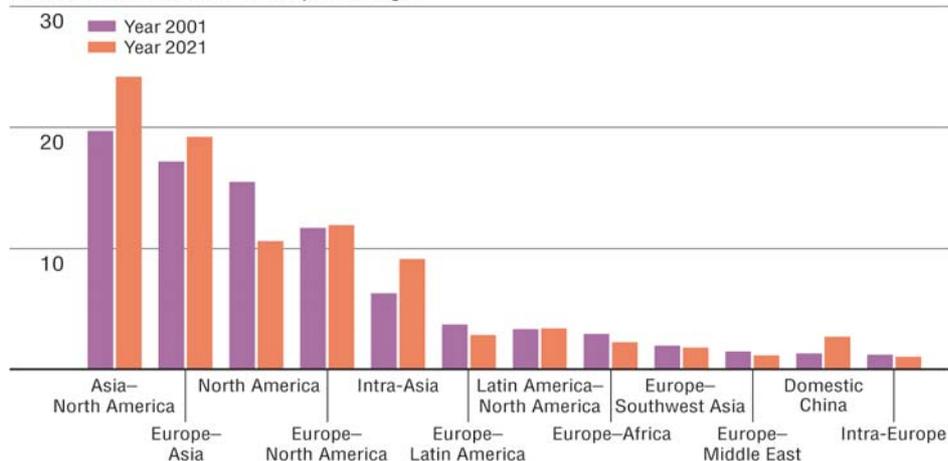


圖 1.3 各地區 2021 年航空貨運預估佔有率比較

資料來源：[25]

表 1.1 航空業營運量指數

單位：%(以民國 90 年為基期)

年別(民國)	航空客運	航空貨運
87	112.08	78.82
88	113.65	89.56
89	105.04	102.14
90	100	100
91	95.88	115.54
92	82.20	123.83

資料來源：[27]

有關航空貨運進出口的流程圖大致如圖 1.4 所示；以出口為例，先由交寄貨品的貨主(shipper)開始，將貨品交由航空貨運承攬業(air freight forwarder)處理，承攬業者會先向航空公司預定艙位並將所承攬之多名貨主的貨物進行貨物併裝，同時處理報關業務；而後將貨物運到機場內(或附近)供貨物存放的航空貨運集散站(cargo terminal)暫存；最後，負責航空貨物卸載的機場地勤業者(ground handling service)將貨物裝載到航空公司(airlines)的全貨機或是客機機腹貨艙。相反地，在貨物抵達目的地之後，經由上述反向操作，貨品才能到達收貨人(consignee)的手上。

由此說明可以瞭解，國際航空貨運有許多參與者及相關作業，其牽涉的管理決策問題亦相當多且繁雜。在整個國際航空貨運的流程中航空公司與貨主之間通常是不會直接接觸的，居中介地位的航空貨運承攬業扮演著非常重要的角色。其收費與提供的服務品質將直接影響到貨主使用航空貨運的成本與滿意度。同時，對航空公司而言，航空貨運承攬業是航空貨運市場主要的消費者，也是市場需求的來源。目前航空公司分配銷售艙位給承攬業者也大多以合作經驗為基礎，並不一定有非常良好的控制；而本研究的重點即在應用收益管理(Revenue Management, RM)在航空公司與承攬業間的艙位規劃上，希望將有限的艙位妥善使用，使航空公司的總收益增加。

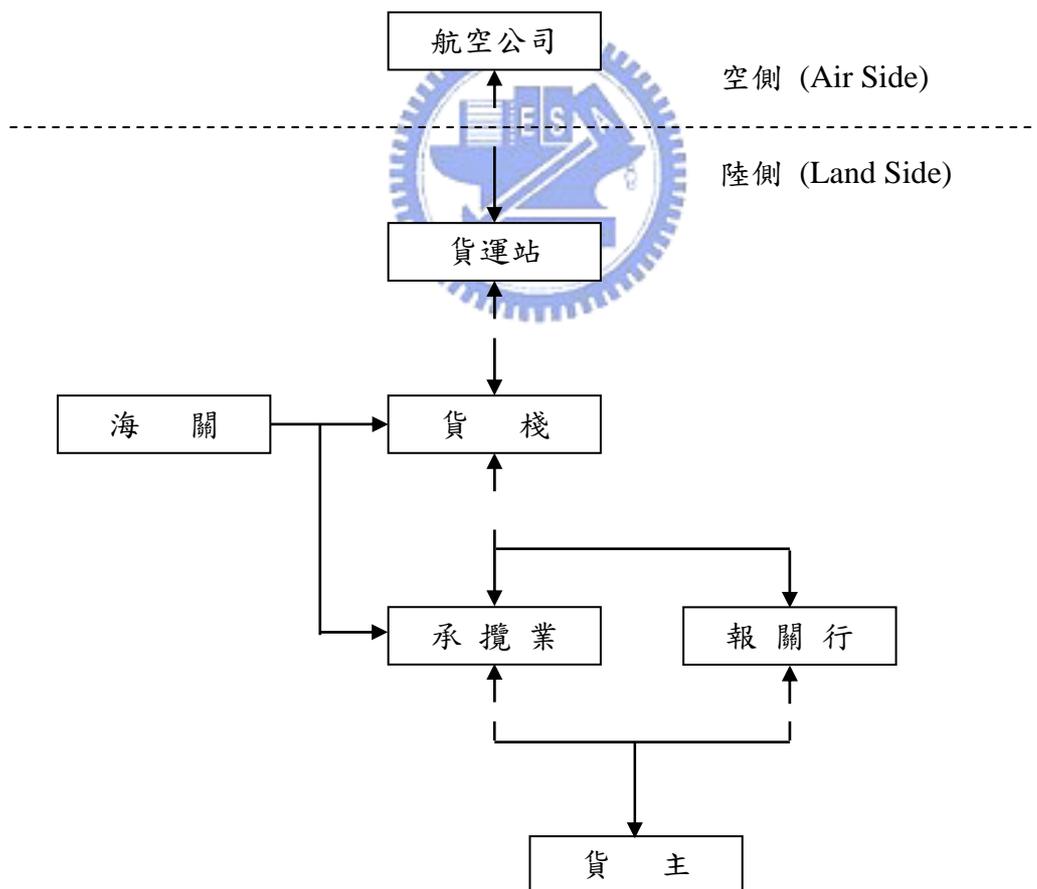


圖 1.4 航空貨運進出口相關單位示意圖

資料來源：[18]

1.2 研究範圍與目的

自 1978 年美國解除航空管制後，航空公司可自由進出市場並對班機彈性訂定票價。一夕之間，美國的航空產業開始發生變革，新進較小的航空公司為吸引顧客紛紛降低票價吸引客源。而原來的大型航空公司避免客源流失並為增加營收與競爭力，也開始採取市場區隔的方式，同時提供高價與低價機票，並利用一些購票上的限制，使低價的機票可吸引到一些額外的顧客，卻又不至於讓那些貢獻主要利潤之高價機票的主要顧客流向到低價位機票。因此由美國航空公司(American Airline)開始，使用收益管理的多項技術；藉由市場區隔與定價.....等等方式，達到總收益最大的目標。

航空公司運用營收管理技術可有效地控制機位的效益；以美國航空公司為例，其早在 60 年代已經開始進行自己的收益管理系統，發展一連串的作業研究(Operations Research, OR)模式，並將整個問題縮減為三個主要子題：超額訂位、艙等分配與交通管理。該公司的分析顯示，如果沒有使用這套控制系統，估計大約每架班機將有 15% 的高票價座位會保留到起飛時間賣不掉，經使用系統後這類損失可減少至每班機只有 3% 的座位會發生。美國航空公司估計在從 1988 到 1990 年這三年測量出的淨收益約增加至 14 億美元，平均每年約有 5 億美元的收入，也因而使得航空公司逐漸重視收益管理[8]。

1.2.1 營收管理之基本特性

航空客運的座位或是貨運的艙位都屬於廣義之時效性資產的收益管理(Perishable-Asset Revenue Management, PARM)的一部分，根據 Weatherford & Bodily(1992)[9]的研究顯示，時效性資產具有以下三種特性：

- a. 不可儲存性：所謂的時效性資產又稱時效性商品(perishable product)，其具有一生命週期，在此週期過後商品將不再具有價值或耗損掉大部分的價值。由於這些商品生命週期短暫且無剩餘價值；一但過了其時效性，這些被保存的服務或商品則無法繼續創造利潤，再且這些商品的需求通常具有不確定性，因此各種收益管理的相關研究應運而生。主要便是使這些時效性商品可經由一些政策與定價，能更有效利用商品的供給與需求特性，達到企業追求利潤最大的目標。其中最具代表性的即是報紙、農產品與旅館房間等，機票也屬於此商品的種類之一，由於商品無法保存其價值，因此在供給量方面將需要極小心的評估，否則將很可能造成存貨過多而虧損。在所有時效性商品的問題中，最典型的即為所謂的報童問題(Newsboy Problem)，由於報童所面臨的是隨機需求(stochastic demand)，假如需求的機率分布已知，即可利用機率分配來計算最適合的供給量，來平衡庫存不足(understocking)與庫存過剩(overstocking)之成本(損失)。
- b. 固定的資源(容量有限)：對於時效性商品的數量限制，有時來自於服務的容量限制，如：旅館房間或機位；有時則是由於商品具有生命週期，因此廠商在提供此商品時會限制商品數，以免滯銷的情形發生。因為數量有限且具有時效限制，因此時效性商品可允許其價格作一大範圍的調整，以達到最有效的利用，並使收益最大。由於時效性商品的需求變動範圍較大，因此想要以價格與需求的關係來使

可獲得之商品量達最充分利用是一件十分困難的事情。但若能妥善使用收益管理於商品的管理上，使用價格折扣來使商品在損壞前能全數售出，所獲得的總收益將遠較使用高單價卻賣不出商品要多。經由掌握商品供給以及需求與價格間的關係，將可使商品能更有效利用、企業的期望總收益提升。

- c. 具有區隔市場的可能性：以航空公司的收益管理為例，其市場區隔主要是經由一些特殊的策略與服務來區隔飛機上的機位，並給予不同的價格方式來進行。由於此種定價結構，使得航空公司非常重視機位的存貨管理。因為如果保留太多高價的機位，可能在班機起飛前將無法售完，而浪費了這些機位，造成損壞損失 (spoilage loss)，或所謂的閒置成本；但如果規劃給低價的機位太多，也有可能將一些原先有可能購買高價機位的旅客移轉到低價位機票上，使得航空公司喪失這些潛在的收益，造成收益損失(yield loss)(如表 1.2)。自 1970 早期，開始使用差別定價來界定商品市場，這項新方法使得航空公司注意的焦點開始移轉到顧客市場的區隔以及座位的分配問題。

Littlewood(1972)[6]提出，折扣後的機票價格若超過未來全額票價收益的期望值時，則應該就折扣後的票價售出；而此即是收益管理的起源。直到後來美國解除航空管制後，收益管理才開始深入發展；各家航空公司得以在合理的降價中與同業競爭，並經由此方式區隔市場。

表 1.2 航空公司可能面臨損失種類

種類	收益損失(yield loss)	損壞損失(spoilage loss)
發生時間	先	後
原因	可以賣高價卻賣成低價。	可以賣低價保留到高價卻賣不掉。
定價	低票價	高票價

資料來源：本研究整理

自航空業解除管制以來，航空客運業一直是航空運輸相關研究的重心，而航空客運業的收益管理相關研究由來已久，從早期需求預測、超賣、機位存貨管理與定價問題，至今已為航空客運業的收益管理上帶來眾多的突破。如今，在商業全球化的趨勢下，航空貨運雖然已成為跨國供應鏈的主角。但航空貨運的收益管理方面的研究卻遠不如客運業般的先進與完整。

1.2.2 航空貨運之營收管理

航空客運與航空貨運所販賣的商品皆屬於時效性商品的一種，只是航空客運運送的對象是人，商品的是機位，航空客運運送的是貨物，商品是艙位。兩者在班機起飛後所剩餘的機位或艙位皆無剩餘價值。基於兩種商品特性的相似性，以及兩種需求均具有的不確定性，就航空公司經營的角度而言，廣泛應用在航空客運的營收管理技術，應該可

以應用在航空貨運的艙位管理上，但實際上兩者仍有許多必須特別注意的差異。

一般而言，客運營收管理(Passenger Yield Management, PYM)與貨運營收管理(Cargo Revenue Management, CRM)之具有以下幾點差異：

1. 就供給上，客運座位數十分明確。但貨機艙位供給量卻受以下幾點的影響：
 - a. 貨物在裝載時，會受到毛重與容量的雙重限制，以至貨物之幾何形狀等情況，因此實際存在的盤櫃完成裝載後的容量並不確定。
 - b. 各航機的飛行計劃書通常在接近起飛時才會由航管單位放行，因此其飛行航線、飛行高度、以至航路上的氣候、風速、風向等，都要到當時才知道，該等因素都會影響航機所必須攜帶之油料，進而影響酬載。
 - c. 飛機的最大起飛重量，亦會受到跑道的溼度與溫度的影響，當跑道越濕滑或溫度越高，載重量會因而減少；反之，載重量則增加。
 - d. 當使用客機的機腹(belly cargo)送貨時，由於航機是以乘客的行李為優先，但由於每次乘客的行李要到旅客完成報到才明確知道數量，因此也要到班機起飛前才能確定分予貨運使用的部分有多少，更增加的供給上的不確定。

由於以上各點，都是造成貨運上之總供給量不確定性的因素之一，因此本研究使用隨機變數模擬各班機運送總載重量，以求貼近真實情境。

2. 就需求上，航空客運與貨運之訂位差異可分以下幾點：
 - a. 客運機位的對象是乘客，可以分出艙等，針對不同顧客給予不同的服務或附加不同的限制條件。但是貨運艙位的對象是貨物，目前在服務上航空公司並無給予明確的劃分。
 - b. 客運「機位」與貨運「艙位」的劃分不同，其中機位以席計算，每次需求進入可分為單席或多席訂位。但是艙位訂位時以重量計算，一般每次訂位有最低容量限制，因此原則上每次訂位應視為多席訂位。

早期 Kasilingam(1995)[4]曾探討過航空客運與貨運的不同點，Kasilingam 並提出可以 PYM 為提供發展 CRM 的基礎，配合許多相關系統來輔助其決策，例如超額訂位的問題與裝載分派的問題等。

綜合以上之分析，可知航空客運與航空貨運的經營，在本質上確實仍有一定程度之差異。過去國內航空業對客運的收益管理一直比貨運要來的用心與積極；相較之下，航空貨運的接單作業與價格，並沒有比較良好的管理，仍傾向依賴過去的經驗法則。目前客運市場上已有花樣百出的機票競價、旅遊組合、以及各種相關資訊廣告，由此可看出貨運市場的經營仍有極大的發展空間。尤其在目前貨運市場的成長快速的情況下，如何訂立一良好的貨運收益管理機制，以求能有效利用其商品特性並進行市場區隔，應該是目前航空貨運業的主要議題之一。

1.2.3 小結

基於航空貨物的特性(高單價、時效性等等)，航空貨運的經營必須非常有彈性，對

於服務品質的要求非常高，但同時對於成本的控制也必須非常嚴格。以往艙位分配多應用於航空客運業，且其成效良好；雖貨運與客運間有其需求特性的差異存在，但並非無法將客運的收益管理應用於貨運收益管理上。本研究冀望以 PYM 為基礎，考慮航空客貨運中不同的運輸特性與背景，發展一套可應用於 CRM 的艙位存貨管理決策；改善目前使用人工操作，沒有效率的決策。冀能更進一步有效率地利用班機上有限的艙位，達到收益最大化的目標。

目前所界定的研究對象為兼營國際航空客運與貨運市場之國內航空公司，將蒐集所需的相關資料並發展適當之數學模型，解決貨運艙位在營收管理之核心存貨管理問題。最後利用所獲得的資料，針對整個模式進行試算調整，以求更接近真實情況。

本研究整理出研究目的如下：

1. 瞭解目前航空客運機位與貨運艙位配置問題與特性。
2. 以航空客運業機位存貨管理為基礎，發展適當之數學模型，解決貨運艙位在營收管理之核心存貨管理問題，並建構航空貨運的艙位存貨控制系統。
3. 提出具體的結論與建議，以增進航空貨運業進行收益管理之效率。

1.3 研究方法與流程

本研究主要以目前航空客運業發展的收益管理模式為基礎，進一步根據航空貨運的特性作調整。首先，蒐集目前航空客運與貨運方面收益管理的相關研究，瞭解目前收益管理的問題特性；其次，根據上述資訊，歸納出客貨運間的不同特性；最後，則就航空客運目前的收益管理方法依據貨運的特性作調整，並試算求解。

本研究之研究流程如下(如圖 1.5)：

1. 界訂研究範圍與目的

本研究對象雖以航空貨運為主，但是由於航空客運上的收益管理發展較為成熟，因此由目前航空客運收益管理上的發展與相關文獻著手，首先了解目前收益管理上的進展，並由此劃分研究的主題與範圍。

2. 文獻回顧

探討目前航空貨運的背景狀況與目前航空貨運的研究發展方向。藉由上述資料分析航空貨運的供給與需求特性，以及其與客運間的區別，並對於航空貨運，航空客運與收益管理這幾個相關主題加以回顧，以進一步瞭解這幾個問題的差異與關聯性

3. 模式構建與求解

由於影響艙位決策的因素甚多，因此本研究將藉由數學規劃求解，以收益最大化為目標，尋找一適合艙位存貨管理上的最佳決策。

4. 實地訪談

藉由訪談國內兼營國際航空客運與貨運市場之國內航空公司，瞭解目前航空貨運營

運的狀況，並蒐集相關模式資料。利用過去的歷史資料加以彙整，以利本研究分析使用。

5. 實證試算與微調

利用實地訪談中所獲取的資料，使用於構建好的模式中，探討模式之適用性，並根據訪談資料與試算結果作一微調，以求使模式更符合真實情境。

6. 結論與建議

將研究結果作一歸納與分析整理，並與目前國內的狀況作一比較，研擬具體的結論與建議，引出後續可行之研究方向。

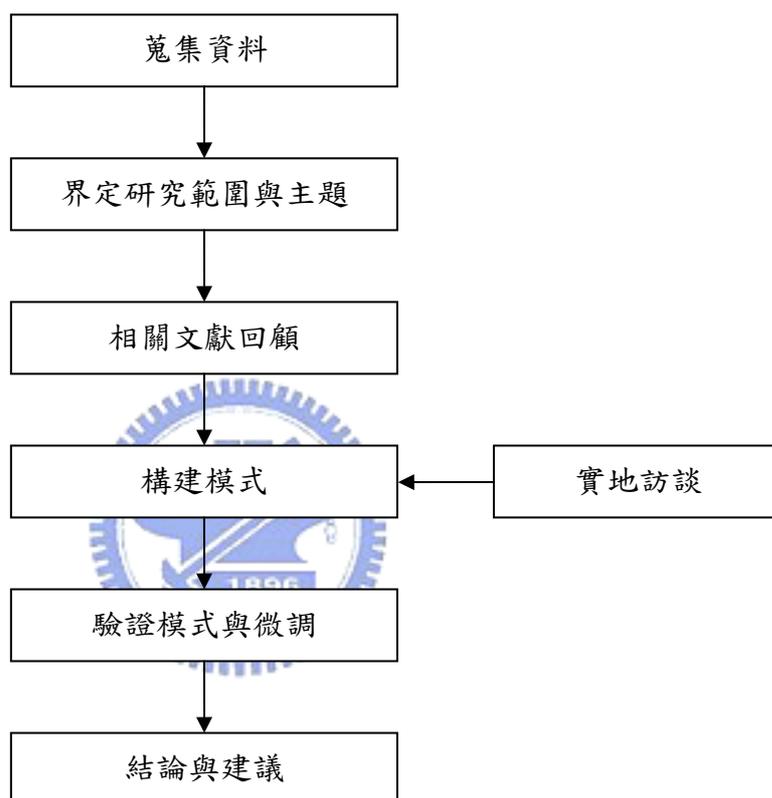


圖 1.5 研究流程圖

資料來源：本研究整理

本研究有關航空貨運營收管理的架構可參照圖 1.6。

- a. 在設計收益最佳化模式時，須配合目前航空公司本身的政策(定價，艙位分配等)。
- b. 為了解目前顧客的流向，應輔以未來艙位的需求預測。
- c. 由於飛機上的艙位並非固定的容量，尚須考慮目前一定必須運送之貨物(如客機旅客之行李)以及油料(可能受天氣與航路之影響)等，因此在模式的設計上將考慮供給不確定性的影響。
- d. 在面對當供給不足時，應配合給予貨物未能搭載上機之貨主的賠償(成本)並處理可能面臨的損失，如客服滿意度或顧客忠誠度之下降。

本研究的目標在設計一適合航空貨運使用的收益最佳化決策模式，包含前述之航空公司經營政策與客戶需求特性，並考慮當供給不確定與改變被拒登機成本時對此模式的影響。

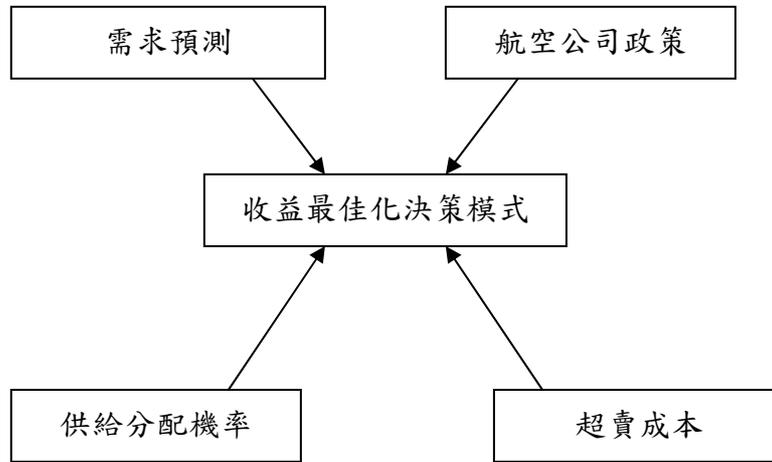


圖 1.6 研究架構圖

資料來源：本研究整理



第二章 文獻回顧

根據 1987 年美國航空公司的年度報告所描述[8]，收益管理即是「將適當的機位以適當的價格賣給適當的顧客」。說明航空公司視機位資源隨時間與顧客市場的改變，而具有不同的價值。由於目前收益管理在航空客運上的應用較成熟，因此本章將先介紹目前航空客運上收益管理的相關研究，再比較其與航空貨運之間的差異，最後則探討其他收益管理相同的議題。

2.1 航空客運之收益管理

自從航空產業解除管制後，收益管理逐漸被航空業所重視，透過預測可用容量與需求以作出市場區隔，訂出最佳的價格，以使承載量、總收益與邊際收益達到最佳化。收益管理在航空客運上的應用大致可分為以下三步驟：

- a. 一開始先基於需求的特性與價格的敏感度，把飛機客艙的某一服務艙等(cabin class)，如經濟艙，進行市場區隔，訂定不同的票價，稱為費率艙等(fare class)。本研究的艙等規劃，主要的探討對象即是費率艙等，後續簡稱為艙等。
- b. 針對同一班機客艙不同之費率艙等給予不同的購票限制條件，這些限制條件則必須要能將那些高價位與低價位的機票市場區隔清楚，使這些相同的機位區分為不同的商品與市場定位。
- c. 考慮到各艙等的需求分布，經由歷史訂位資料來決定其訂位上限、定價或超賣等。因而制定各艙等的訂位限制，控制各艙等的機位的銷售量，使總收益最大。

目前航空公司使用差別定價，將航班的機位分為許多艙等，其主要的機位配置方式一般分為非巢式(non-nested)與巢式(nested)兩種，目前航空公司普遍使用巢式為主。巢式的機位配置主要在改進非巢式的缺點，將各艙等依照其費率高低的的不同，設置其不同的「最低預留位」($L_i, i=1\dots k$ ，共有 k 種艙等，其中 $i=1$ 為票價最高的艙等，依序 $i=k$ 為票價最低者)。其最低預留位的方式與非巢式相似，但各艙等預留位卻不僅只售給該艙等的機位需求，尚可售給該艙等以上的較高費率需求。因此，最高費率的可使用容量(B_1)即為此班機的最大載客數(C)，次高費率的可使用容量(B_2)即為最大載客數減去最高費率的最低預留位($C-L_1$)；以此類推，則最低費率的可使用容量即為其最低預留位($B_k=L_k$)。而各艙等的最低預留位總合等於班機的最大載客數(如圖 2.1)。如何分配巢式配置內各艙等的最低預留位並在銷售過程中加以控管，使得總收益最佳化，則為營收管理的主要問題。

$$\text{最高載客量} = L_1 + L_2 + \dots + L_k = B_1 = C$$

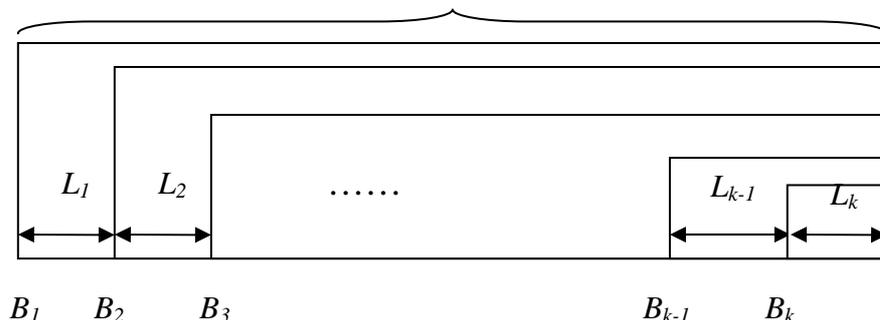


圖 2.1 巢式艙位配置方式

資料來源：[13]

2.1.1 靜態機位存貨管理

早期航空公司營收管理有關座位的配置與控管，一般屬於靜態(static)的方式，其主要有六個重要的基本假設[6]：

1. 循序的訂位艙等(sequential booking classes)，也就是一個時期只會有一種艙等的訂位需求出現。
2. 上述循序的各艙等訂位中，低費率的艙等需求出現一定早於高費率。
3. 艙等間彼此的需求是獨立的。
4. 不考慮取消(cancellation)與未出現(no-shows)。
5. 對象為單一航段中的航班，不考慮網路影響。
6. 不考慮多席訂位，一次只能處理一個座位的訂位。

上述假設的確反映了部分航空客運訂位需求的特性。例如對於休閒旅次而言，其需求確實會比商務旅次較早確定，因此低費率的艙等需求出現一般會早於高費率；但由於現在千變萬化的票價與購票規則，事實上對於各種旅次是否真是如此，卻也並非如上述第一、二、三個假設般單純。而且就第四個假設而言，早期數學模式剛發展時，只能處理比較簡單的問題，因此無法考慮取消與未出現的問題；但在現實生活中，訂位取消與未出現其實與航空客運的收益管理間有密切的關係存在，是一項非常重要的變數。由此可知，上述六大基本假設是為了簡化航空市場內複雜的買賣關係與顧客行為，以便收益管理的模式求解，而制定出的假設與限制，但這些假設卻也使得模式無法真實表現出部分實際的狀況。

根據上述的假設，早期學者 Belobaba(1989)[1]提出了一個數學規劃的模型，並提出一啟發式解法稱為 EMSR(Expected Marginal Seat Revenue)，是營收管理研究中早期非常重要的文獻，其主要之內容可摘要如下。

機位存貨管理主要由需求預測系統、艙等規劃與訂位決策系統三部份所組合；換言

之，機位的存貨控制的問題是要決定該保留多少機位給「未來可能」出現的高艙等需求。Belobaba 針對多重費率的航班，利用 EMSR 以邊際機位收益期望值，決定巢式艙位規劃法中各艙等的最低預留位，以作為評估是否該接受此訂位的基準。

此方法保留上述的六個基本假設並使用巢式艙位規劃法，探討在多費率的情況下，如何決定各艙等的最低預留位。評估各艙等的最低預留位數時，是以各艙等預留位數(S_i)與邊際收益期望值之關係為基礎。一般而言，機位的訂位收益與其預留位數間具有一邊際收益遞減的關係(如圖 2.2)。因此，當最高費率艙等預留位數增加，而邊際機位收益期望值開始小於次高費率艙等之費率時，則應該開始賣次高艙等的機位，此時的機位數則為最高艙等的最低預留位數(L_1)。利用類似觀念可以依序類推到各費率艙等的最低預留位數(L_2, L_3, \dots, L_k)。

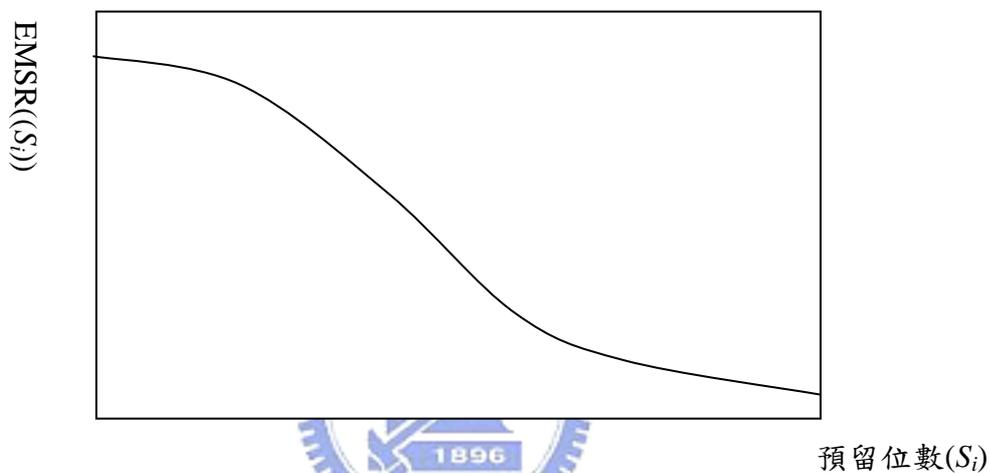


圖 2.2 航空客運邊際收益曲線

資料來源：[8]

有關 Belobaba 所提出之 EMSR 模式可由以下的數學式概述：

$$EMSR_i(S_i) = f_i \cdot Pr[r_i > S_i] \quad (1)$$

符號說明：

- i : 顯示艙等別， $i=1 \dots k$ ， $i=1$ 代表費率最高， $i=k$ 為費率最低。
- r_i : 對艙等 i 的訂位需求量，為一隨機變數，假設其機率分布已知。
- S_i : 對艙等 i 的預留位數。
- f_i : 艙等 i 的費率。

$Pr[r_i > S_i]$ 表示艙等 i 之訂位需求 r_i 大於其艙等 i 之預留位數(S_i)的機率， r_i 的機率分布已知， S_i 越大則此機率值越小。式(1)則表示當艙等 i 賣出第 S_i 個機位時此機位所產生的邊際機位收益期望值，其等於該艙等的費率乘以該機位售出的機率。由於如前述當保留的機位數(S_i)越多，其售完的機率將越低；因此，機位邊際收益期望值($EMSR_i(S_i)$)

隨保留機位數增加將會呈現一遞減的函數。

Belobaba 依據上述觀念，推導出各艙等(i)對應於比其高價之艙等($\forall j, j < i$)所應保留的座位，進而得到各艙等的最高訂位數(B_i)。Belobaba 所提出的機位存貨管理是以期望營收最大化為目標，但僅為一啟發式解法(heuristics)只能找出區域最佳解(local optimal)。

之後 Curry(1990)[3]，Wollmer(1992)[10]，Brumelle & McGill(1993)[2]，改善 Belobaba 的模式，找出全域最佳解(global optimal)。但上述皆屬於靜態的機位存貨管理模式，沒有深入探討存貨管理之需求產生與時間的關係。對於隨時間所產生的變化，並未針對需求產生的到達過程(arrival process)以動態的方式模擬，即使實際應可用上可隨時間依當時狀況改變參數再重作一次，也非真正屬於動態的模式。

國內有關航空客運收益管理的研究，有多位學者延續前述模式，鬆弛六大基本假設，如加上考慮網路架構或包含取消訂位機率等特性。例如，陳昭宏與張有恆(1999)[22]改善 Belobaba 的 EMSR 模式，提出班機起飛前高低費率互相競爭登機與超賣的成本函數。避免以往整合動態巢式與超額訂位策略模式中，僅考慮補滿訂位未報到人數，以及未納入超賣成本考慮之缺點，因而使得超額訂位可以因應各費率等及訂位需求產生變動配置，並合理地反應航空公司在超賣情形下，會由高費率等級依序優先登機之實務措施。顏上堯與陳茂南(2000)[24]則探討在低票價率可較高票價旅客先出現要求訂位，但有部分需求重疊的情況。當中包含多重票種與多重起訖點，運用邊際座位收益法及數學規劃方法求解。當中發展一多票種間巢式共用策略，並將部份低期望價值之座位提供各起訖行程彈性使用。汪進財、蔡言宏(2001)[17]運用一次決策與最佳邊界的概念，構建單一費率與兩費率之超額訂位模式，使用巢式配置，考慮起飛前的取消訂位與未報到旅客。訂立一組超額訂位上限。另外，汪進財、張喜美(1984)[16]尚利用 EMSR 之觀念至鐵路列車之座位管理上，探討不確定需求下鐵路列車座位分配到不同旅程之方法。審慎利用航空公司所使用之收益管理及電腦訂位系統，以期大幅改善旅客服務及列車收益。

2.1.2 動態機位存貨管理

有關前述靜態的機位存貨管理的六個假設，固然簡化了營收管理的複雜度，但畢竟與真實的需求型態有明顯的差距。因此，Robinson(1995)[7]鬆弛了第二個假設，「低費率需求訂位會先於高費率需求」之限制，考量各艙等之需求雖然仍以循序為主，並無費率依序升高的情形。

另外 Lee & Hersh(1993)[5]則是針對假設一，認為各艙等之需求不應是循序發生的，從時間軸的角度來考量，各艙等需求的發生應該有所重疊。因此，不應使用隨機分配的機率分配來描述各個艙等的訂位需求，而是將整個對於機位的需求視為隨機序程(stochastic process)，將各艙等的需求強度轉換成一需求機率，而此機率將隨時間而有所改變。使用隨機序程在模擬訂位需求以計算總收益期望值時，將更接近現實狀況，而不再須要對於各艙等的需求作先後順序的假設。

基於上述分析，Lee & Hersh 考慮時間與各艙等的機位需求之間的關係。建立以下的

動態規劃(Dynamic Programming, DP)的數學模式。首先,類似前述模型,所有機位分為 k 個艙等,以 1 為最高費率艙等 k 為最低費率艙等。之後,並從開始接受訂位起到班機起飛前的這段時間分為 n 個決策時段,每個決策時段的時間長度細分至只能有一個以下的訂位需求進入,由班機起飛到開始訂票的決策時段由 0 編號到 n ,另將目前剩餘的機位數(s)設為狀態變數(state variables), f_s^n 代表決策時段 n 剩餘 s 個座位時的期望總收益,而 P_i^n 為在決策時段 n 時艙等 i 的訂位機率。

式(2)為 Lee & Hersh 在 DP 模型中計算期望總收益的公式,對於決策時段 n 剩餘座位 s 的情況下,期望總收益 f_s^n 可分為兩種情況—有需求進入或沒有需求進入。如果在決策時段 n 無需求進入時,此時的期望收益則為前一個時段的期望總收益(f_s^{n-1})乘以無需求進入的機率(P_0^n)。若有需求進入時,對於最高費率艙等的需求(發生機率 P_i^n)將永遠接受,期望總收益為($F_i + f_{s-1}^{n-1}$); 而其他艙等訂位需求的接受與否,主要是比較此機位在此時售出或保留到下一決策時段,何者對於期望總收益的幫助較大而決定。如果此時售出座位所獲得知期望總收益會大於將座位保留至下一決策時段之期望總收益,也就是 $F_i + f_{s-1}^{n-1}$ 大於 f_s^{n-1} 時,則應該在此時以此費率將此艙位售出。反之,則應該將此機位保留到下一決策時段,以獲得更高之期望總收益。因此,若將兩種情況取其大者,乘上對應艙等需求發生之機率(P_i^n),如(2)中之第 3 項,即為其對應之期望總收益。

$$f_s^n = \begin{cases} P_0^n f_s^{n-1} + P_1^n (F_1 + f_{s-1}^{n-1}) + \sum_{i=2}^k P_i^n \max(F_i + f_{s-1}^{n-1}, f_s^{n-1}) & \text{for } n > 0, s > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{where } P_0^n = 1 - \sum_{i=1}^k P_i^n$$

符號說明：

i : 顯示艙等別(1..... k)。

n : 顯示目前時段。

P_i^n : 決策時段 n 中,對艙等 i 的訂位機率。

F_i : 艙等 i 的費率。

f_s^n : 在決策時段 n 中,此時剩餘 s 個機位的最佳總收益期望值。

根據前述的動態規劃模式, Lee & Hersh 並定義如下之機位期望邊際收益— $\delta(n, s) = f_s^n - f_{s-1}^n$, 代表決策時段 n 時,此時第 s 個機位所增加之收益,亦為邊際收益

期望值。加以分析並得到以下四個結論：

- (1) 在決策時段 n 針對各艙等 $i (i=1\dots k)$ ，存在一臨界容量， $\{\hat{s}_i(n)\}$ 。亦為當剩餘機位大於此臨界容量時，才可接受此艙等 i 的需求。
- (2) 在剩餘機位 s 針對艙等 $i (i=1\dots k)$ 中，存有一臨界時間， $\{\hat{n}_i(s)\}$ 。此艙等 i 的需求須發生在較此臨界時間更靠近起飛時間才可接受。
- (3) 在決策時段 n 剩餘機位 s 時，存有一臨界訂位艙等， $\hat{i}(n,s)$ 。意即在此情況下，訂位需求的艙等須高於臨界訂位艙等，才可接受。
- (4) 綜合上述三點，在其他條件不變的情況下：
 - i. 剩餘機位數與臨界時間成正相關，當剩餘機位數愈多，其臨界時間愈大。
 - ii. 決策時段距離起飛時間越遠時，則臨界容量將越大。
 - iii. 在同一個決策時段下，當座位剩下越多時，則越可以接受較低價位的艙等需求。
 - iv. 在剩餘相同機位數時，越靠近班機起飛時，賣出機票的機率越低，則越可以接受低價位的艙等需求。

Lee & Hersh 的另一個貢獻是針對假設六，「不考慮多席訂位，一次只能處理一個座位的訂位。」提出修正，認為訂位的需求應該包含「多席訂位」之需求。考慮各艙等中不同機位數的需求機率。其採取一聯合機率密度函數來表示此時段 n 對於不同艙等 i 的不同訂位數 m 的需求機率 (G_{im}^n)，並假設各艙等的每次訂位的上限為 M_i ，因此在考慮多席訂位後，決策時段 n 剩餘機位 s 之期望總收益 (f_s^n) 如式(3)所示；而在考慮多席訂位時，所要比的決策改為多席訂位所帶來的收益與留下這些機位到下段時期的可能期望收益。

$$f_s^n = \begin{cases} P_o^n f_s^{n-1} + \sum_{i=1}^k P_i^n \sum_{m=1}^{M_i} G_{im}^n \max(mF_i + f_{s-m}^{n-1}, f_s^{n-1}) & \text{for } n > 0, s > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

由於每次需求之訂位數 m 並非像單席訂位般固定只有一個機位的需求進入，此時之邊際期望收益則被定義為 $\delta_m(n,s) = \frac{1}{m}(f_s^n - f_{s-m}^n)$ ，代表在此決策時段 n 剩餘機位數為 s 時，依據各訂位數 m ，其對應之各機位期望邊際收益。

單艙位與多艙位模式的不同點在於，對於單艙位的訂位需求而言，只要是最高費率艙等的需求進入，若是有剩餘艙位則應接受此需求。但是在考慮多艙位需求進入時則不一定，因為當多艙位的需求進入時，所考慮的不僅只是目前賣出艙位所獲得之收益，還需要考慮剩餘的艙位數在之後的決策時段所帶來的期望總收益的情形而定。這種情形尤其在靠近班機起飛前的決策時段最明顯，由於艙位可能賣出去的機率越來越低，因此以單艙位的訂位需求而言，幾乎只要有需求進入就會接受；但是對於可允許多艙位需求的

模式中，若是接受某些小單位的艙位訂位需求時，剩下來的少數艙位將無法接受可能進入的大單位艙位訂位需求，而讓原先可以賣出的艙位空置。因此在多艙位需求的艙位管理模式要比單艙位的艙位管理模式要來得複雜，所須考慮的層面也較廣。

我國機位存貨管理研究在動態存貨管理方面有多篇論文應用了 Lee & Hersh 所使用的模式。如：石豐宇、黃瑞財(1996)[12]建立動態多席訂位需求預測模式，引用非均質卜松分布，針對不同艙位等級之訂位需求，在不同時段給予不同抵達率。模式推估顯示當訂位需求為時間之多項式時，概似函數經證明為一凹型函數。另外，石豐宇與郭維杰(1999)[13]以 Lee & Hersh 之直飛航班動態多席訂位模式為根據，探討單一航班多地停靠與多重航班同時考慮下之艙位規劃模式構建；亦提出數項求解方法之選擇策略，以改善實際應用上之求解效率。陳雅妮(2001)[21]以個別旅客的客位需求、個別旅客對機票效期所感受之不便成本價值，與航空公司所制定各類票價產品之時間限制、票價間之關係為基礎，構建一訂位艙等規劃之解析性模式。研究中並探討影響供需兩面互動之重要因素，以分析航班客位需求並進行訂位艙等規劃，與制定最適售票時間。

2.2 貨運之收益管理

對於討論航空貨運的收益管理，Kasilingam(1997)[4]以航空公司使用客貨兩用機為例，指出貨運與客運的不同之處，並提出如圖 2.3 之航空貨運收益管理模式。貨運由於具有其特殊的存貨方式、交易與訂位行為、及容量的不確定性，因此可利用供給量的出現機率評估其最適的超賣水準，並考慮訂單的路線安排以使總收益最大。

Kasilingam 利用機率理論與最佳化方法建構航空貨運的超賣模式。將貨物的到達率與貨運之可用容量皆以機率分配的方式表示，求解閒置成本(spoilage cost)與超賣成本(oversale cost)加總的最小值。當中假設利用歷史資料可得出貨物的出現率為 B ，飛機的貨物運載容量(C)為一間斷或連續的機率分配，超賣水準意即實際上販賣出的容量為 L 。當貨物到達量($B \times L$)超過飛機所能承載的運量(C)時，這表示將會有部分的貨物無法準時上飛機，則航空公司必須要額外付給這些無法上機的貨主一個延遲上飛機的成本，稱為超賣成本。反之，當 $B \times L < C$ 時，顯示航空公司並沒有有效利用所有的承載量，而這些沒有利用到的空間亦會產生一成本，稱為閒置成本。而超賣問題則是要求解出最佳的超賣水準，以使班機的運載量可充分利用，且各班機所產生的期望總成本最小。

之後，許文娟(1998)[19]改善 Kasilingam 收益管理模式(如圖 2.3)，以總成本期望值最小與淨收益期望值最大為目標，將航空公司所提供之貨運可用容量與訂位顧客之貨物出現率，均表示成具有不確定性之隨機變數形式，構建出可供求解最佳超賣水準與目標式之模式，並用國內資料進行試算，比較航線別、機型別之影響。在就成本函數之敏感度分析歸納時，發現閒置成本對目標式之影響大於超賣成本。在閒置或超賣成本增加時，總成本期望值亦隨之增加。另外，超賣水準在超賣的單位成本增加時，會逐漸降低；但在閒置的單位成本增加時，則會逐漸提高。目的是為了降低超賣或閒置所增加之成本期望值，以達總成本期望值最佳化之目標。但上述研究均只談到航空貨運就超賣上的處

理或控制，並沒有進一步談討至艙位存貨管理的部分。

國內雖另外有少數的貨運收益管理相關文獻，但是重點大多擺在海運貨運貨櫃的調度與艙位配置，如：李高彥(1995)[14]以建立定期貨櫃海運業之收益管理模式為研究目的，其以收益管理應用於航空客運業之經驗移植到海運業。作者著重航次收益最佳化為目標，主要在處理空櫃調度於艙位配置，其中艙位配置為根據各裝港之邊際貢獻之其卸貨港發生空櫃回送比例、貨物之裝載係數，分配給各裝港最是艙位以達最佳收益。李啟安(2001)[15]則主要在探討貨櫃的航商收益管理。由於貨櫃航商提供之艙位不具儲存性，航商如何配置適當之艙位數至適當之起訖對，以避免發生艙位過多或短缺之情形，造成營收減少，為航商重視之課題。有關艙位之配置，乃屬營收管理之研究領域，在航空業已有很具體的成效。如何將營收管理應用至貨櫃航商，以協助增加收益，據以提昇其競爭力為此研究之研究重點。而這些研究大多為海運貨櫃為對象與本研究的相關程度並不大。由此可知，目前收益管理於貨運上的相關研究並不多；目前的研究仍多以客運為主。

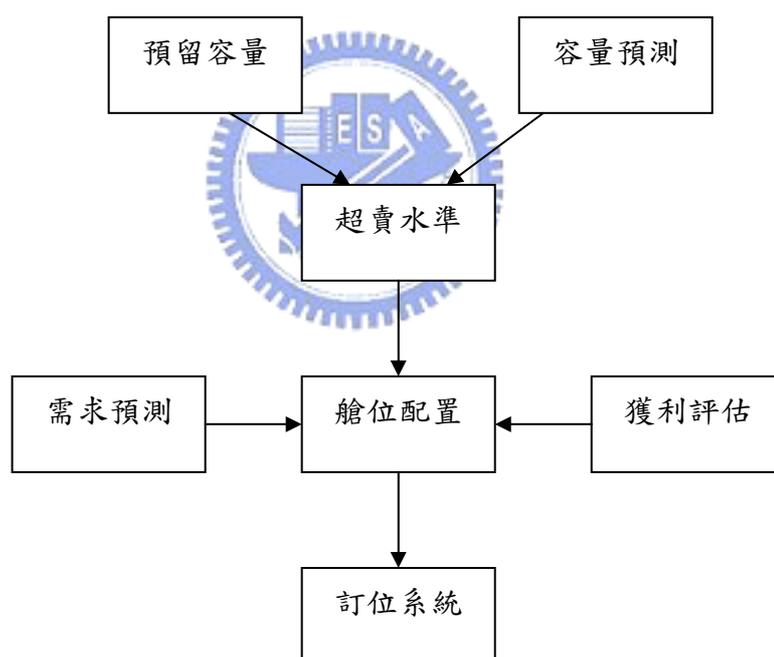


圖 2.3 Kasilingam 收益管理模式

資料來源：[4]

2.3 收益管理其他相關問題

另外，本研究目前的重心尚以基本的單一航段收益管理為主，並未牽涉多重航段或

網路架構的收益管理。由於收益管理的結構十分複雜，因此其牽涉層面甚廣，除了本研究中所使用的艙等規劃外，還包含需求預測、超賣研究與票價規劃等等。需求預測主要為預測各航班在開放訂位時段之特定票價旅客需求數與其可能之變動，以便將資源有效利用。超賣研究則為處理取消與訂位未登機所造成之閒置成本，降低航空公司可能之收益損失。由於機票屬於時效性商品的一種，並具有容量限制此特性，因此票價規劃則是以差別定價區隔不同市場需求，進而追求收益最大化之目標。詳細的收益管理研究整理可參考 McGill & Ryzin(1999)[6]針對收益管理所整理的文獻。



第三章 模式構建

從文獻回顧中不難發現，以往對於航空客運業的收益管理方面的研究十分豐富，在討論機位的存貨控制模式時，可分為靜態與動態之數學規劃；而機位配置方式則分為非巢式與巢式配置。由於巢式配置較具有彈性，因此目前普遍用在航空客運的艙等規劃上。本章將使用巢式配置，探討以航空客運業的動態收益管理為基礎時，求解其應用於航空貨運最適的政策(policy)與艙位規劃方式。

3.1 數學模型之初步分析

本研究對於航空貨運的收益管理以艙位配置作為研究的重點。由於 Belobaba[1]的靜態模式受限於上述的六大基本假設中，尤其是第一、二、六個假設，「各艙等訂位需求循序發生」，「低費率的需求早與高費率」與「不考慮多席訂位」使得模式與航空貨運的特性差異甚遠。而 Lee & Hersh[5]雖鬆弛此三假設，以隨機程序代替隨機變數來模擬需求，並導入多席位訂位於 DP 模式中，與航空貨運的真實營運情況較相近，但當中缺少航空貨運容量的供給不確定這個重要的特性。因此航空貨運的收益管理僅能使用 Lee & Hersh 的部分研究成果做為研究的基礎，無法完全套用。因此本研究將會針對貨運的供給不確定這方面進行探討，並加入供給不確定這項變數於數學模式中。

此外，由於在供給不確定之下，售出的艙位很可能超過實際的艙位供給量而演變成超賣之情形，因此在模式中必須考慮當供給量小於所需運送的貨物量時，部分貨物無法裝載上機所造成的額外成本。航空貨運的服務對象是貨物，一般而言，通常貨主只注意貨物是否可以在期限內到達。因此，在貨運上有時可以不需像客運一般要考慮運線更改或被拒登機的補貼成本，只須考慮貨物是否可在期限內到達即可。但若考慮被拒登機而產生延誤的補貼成本，以至考慮到對於託運者(shipper)因貨物延遲所帶來之困擾，以及所衍生的商譽及顧客忠誠度上的影響，被拒登機之成本似乎仍有存在之必要。因此本研究將分析在航空貨運領域被拒登機發生時的處理，適當地反應被拒登機成本於數學模式當中。

3.2 基本假設

早期航空公司就客運的營收管理上有六個重要的基本假設(如 2.1.1 小節)，但由於在本研究中的研究對象為航空貨運單一航段的航班，並且尚未考慮到取消與未出現，但增加考慮供給不確定的問題。因此，本研究中基本上沿用此六大假設，但根據 DP 模式的需要以及航空貨運特性(可參考前述 1.2.2)，將相關的假設修改如下：

1. 沿用之前的假設部分(原假設 3、4、5)：

- ◆ 艙等間彼此的需求是獨立的。
- ◆ 不考慮取消(cancellation)與未出現(no-shows)。
- ◆ 對象為單一航段中的航班，不考慮網路影響。

2. 根據貨運特性修改部分：

- ◆ 以隨機程序(random process)模擬需求進入的部分。此部分修改原假設 1 與 2，鬆弛各費率艙等依序出現的狀況，而改用隨機程序模擬。
- ◆ 修改原假設 6，由於貨物不若乘客可使用固定座位，而以重量或體積計價，因此每次的訂位需求進入皆視為多席訂位，本研究以噸(ton)為基本單位。
- ◆ 考慮由於航空貨運具有供給不確定性，因此無法上機(denied boarding)的部分可視為超賣。此部分並不屬於原六大假設，而是針對航空貨運的特性而設計。

3.3 貨運艙位之供給不確定性

航空貨運之於客運的收益管理的困難之處在於貨運的艙位供給十分不確定，常受到許多的因素影響(參 1.2.2)。因此一般而言航空公司通常使用一個預設的艙位容量(C)來進行艙位的預售。該預設值若估計得過低，可能會使航空公司面臨一收益損失—事實上可以賣的艙位卻未預先售出而導致收益減少；反之，若預估的供給量過多，則容易造成超賣的情況，由於被拒登機成本增加而導致總收益降低。在實務的作業上，艙位的供給往往是很難預估，同樣的機型、季節與航線，也有可能因為種種原因而使得實際供給量不同，在本研究假設實際供給量 T 為一隨機變數，其機率分布已知。

若預設的供給量(C)大於實際的供給量(T)時，就有可能發生被拒登機，航空公司即面臨此一賠償風險。不過，實際的被拒登機數量仍要視起飛前所剩艙位數(s)而定，當賣出的艙位數超過實際供給量 T 時，也就是剩餘的艙位數 s 小於預設供給量與實際供給量的差額($s < C - T$)時，被拒登機才會真正發生(如圖 3.1)。因此 $C - T$ 可視為一被拒登機的臨界點，而被拒登機的數量亦為無法上機的數量則為 $(C - T) - s$ 。

超賣發生的位置—剩餘艙位數少於 $C - T$

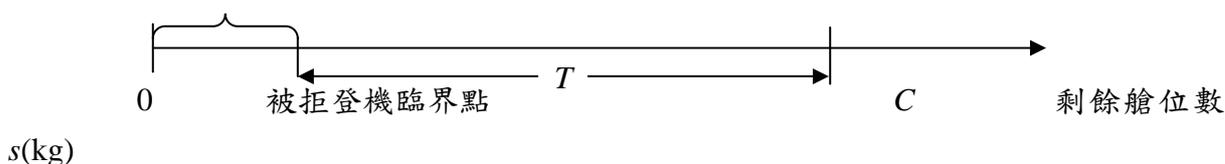


圖 3.1 被拒登機發生的位置

參考文獻：本研究整理

有關被拒登機的賠償，假設以一賠償函數 $D(b)$ 來代表，其中 b 為被拒登機的數量，也就是上一段所推導出之 $(C-T)-s$ 。在 $b \leq 0$ 時， $D(b)$ 之值為 0，也就是沒有任何賠償的發生，當 $b > 0$ 時，可將 $D(b)$ 利用適當的函數來表示總賠償成本與被拒登機數量之關係。

由於有關動態數學規劃中代表期望總收益之函數 f_s^n 中，由於總供給量要到班機起飛前才能確定，因此在模式中以 $n=0$ 的決策時段代表班機起飛前一刻。為處理艙位供給的不確定性，在計算決策時段為零($n=0$)之期望總收益時，對於在不同的剩餘艙位(s)的情況下， f_s^0 必須另外考量各種實際容量可能出現的機率分布與其對應被拒登機賠償後之期望值，如式(4)。

$$f_s^0 = \sum_t Pr(T=t) D(C-t-s) \quad (4)$$

此外，考慮無剩餘艙位($s=0$)的情況下，因已無艙位可賣，各期所面臨之期望總收益應相同($f_0^0 = f_0^1 = \dots = f_0^n$)。由於當決策時段 $n=0$ 時，剩餘艙位 $s=0$ 已有被拒登機賠償的存在， f_0^0 很可能為一負值。故各時段剩餘艙位之期望總收益，將會與決策時段 $n=0$ 剩餘艙位 $s=0$ 之期望總收益相同，等於該負值。

3.4 動態之貨運艙位管理模式

艙位管理模式的重點在於，當有訂位需求進入時，該如何決定是否要接受此訂位需求。過去的研究通常是給予一訂位上限值或者是訂位時間區隔，來做為接受或拒絕訂位需求的判斷依據。但在本研究中則是使用 Lee & Hersh[5]的動態數學規劃模式為模式基礎，加上前小節所述有關航空貨運之供給不確定性之處理，以求能完善描述貨運的收益管理問題。

由於目前航空貨運的艙位尚未開始分隔艙等，並且根據不同的艙等給予不同的訂位制度(policy)。首先，先將所有艙位分成幾個不同的費率艙等與票價，再將從開始接受訂位起到班機起飛前的時間切割成 n 個決策時段，依班機起飛至開始接受訂位從 0 到 n 編號；每個決策時段的時間長度細分至只能有一個以下的訂位需求進入。其次，將目前剩餘的機位數(s)設為狀態變數(state variables)，假設 P_i^n 為在決策時段 n 時，艙等 i 的訂位機率； f_s^n 為決策時段 n 剩餘 s 個座位時的期望總收益。以下將先討論在航空貨運時，單艙位訂位之艙位管理模式；再更進一步到多艙位訂位之艙位管理模式。

3.4.1 模式使用符號定義

模式中所使用的符號定義如下：

- i : 顯示艙等別(1..... k)。
 n : 顯示目前時段(0..... N)。
 s : 顯示目前剩餘艙位數。
 M_i : 艙等 i 多席訂位之單次訂位上限。
 m : 訂位需求中所含的多席訂位數(1..... M_i)。
 P_i^n : 決策時段 n 中，對艙等 i 的訂位機率。
 F_i : 艙等 i 的費率。
 f_s^n : 在決策時段 n 中，此時剩餘 s 個機位的最佳總收益期望值。
 C : 預設的艙位供給量總數。
 T : 當班機起飛時(第 0 階段， $n=0$)，實際的總貨運艙位數量，為一隨機變數，其機率分布已知。
 G_{im}^n : 在決策時段 n 中，艙等 i 中出現訂位數為 m 的機率。
 $D(b)$: 被拒登機成本函數， b 代表被拒登機的艙位數。
 $\delta(n, s)$: 時段 n 剩餘艙位 s 時的邊際收益期望值。

3.4.2 單艙位之艙位管理模式

在決策時段 n 剩餘艙位 s 的情況下，若有費率艙等 i 的單艙位訂位需求進入且被接受，此時期望總收益則為 $F_i + f_{s-1}^{n-1}$ ；若此需求被拒絕，則將艙位保留到下一決策時段中使用，此時的期望總收益則為 f_s^{n-1} 。若前者大於後者即表示應該要接受此訂位需求(如式(5))

$$F_i + f_{s-1}^{n-1} \geq f_s^{n-1} \quad (5)$$

加上考慮前述的供給不確定性後，整個航空貨運收益管理之艙位管理模式如式(6)，由於航空公司一開始都是以預估的供給量(C)，因此模式的目標期望總收益值即為 f_C^N 。

$$f_s^n = \begin{cases} \sum_t Pr(\mathbf{T} = t) D(C - t - s) & \text{for } n = 0, s \geq 0 \\ f_0^{n-1} & \text{for } n > 0, s = 0 \\ P_o^n f_s^{n-1} + \sum_{i=1}^k P_i^n \max(F_i + f_{s-1}^{n-1}, f_s^{n-1}) & \text{for } n > 0, s > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{where } P_0^n = 1 - \sum_i^k P_i^n$$

與之前文獻回顧中 Lee & Hersh 所使用之式(2)比較，除了因考量被拒登機因素而新增計算 $n=0$ 、 $s=0$ 之期望總收益外。此外，當考慮被拒登機賠償後，即使是最高費率艙等的需求進入，在此狀況下並不一定會使期望總收益增加，有時反而會造成被拒登機艙位數增加，而使被拒登機賠償增加，期望總收益減少。因此在式(6)中，亦將最高費率艙等需求加入比較中。以一般的航空客運之機位管理模式，通常當決策時段為 1 時，若還有剩餘機位則應該要盡量賣出，因為機位屬時效性商品的一種，當班機起飛時則無剩餘價值存在。但是在本模式中則不一定如此，因為供給不確定的影響，導致將艙位盡量賣出去並不一定會帶來比較多的收益；當預設的供給量過多時，有時候反而會造成更大的被拒登機賠償。

此時每多賣出一艙位所帶來的邊際收益期望值($\delta(n, s)$)如式(7)。

$$\delta(n, s) = f_s^n - f_{s-1}^n \quad (7)$$

3.4.3 多艙位之艙位管理模式

多艙位之訂位需求則是指當艙位訂位需求進入時，受到艙位的一次訂位上限 M_i 之限制，航空公司只接受針對於某一費率艙等 i 的訂位容量在此範圍之內的訂位需求，在此不考慮一多席訂位需求包含多種訂位艙等的情形。因此在中新增參數 G_{im}^n 代表在當有需求進入決策時段 n 中，對於艙等 i 的需求艙位數為 m 的機率值， $m=1, \dots, M_i$ 。

在決策時段 n 剩餘艙位 s 的情況下，若有費率艙等 i 且艙位需求為 m 之訂位需求進入且被接受，此時期望總收益則為 $mF_i + f_{s-m}^{n-1}$ ；若此需求被拒絕，則將艙位保留到下一決策時段中使用，此時的期望總收益則為 f_s^{n-1} 。若前者大於後者時，即表示應該要接受此訂位需求(如式(8))

$$mF_i + f_{s-m}^{n-1} \geq f_s^{n-1} \quad (8)$$

在多艙位之艙位管理模式中，期望總收益如下所示(如式(9))：

$$f_s^n = \begin{cases} \sum_t Pr(T = t)D(C - t - s) & \text{for } n = 0, s \geq 0 \\ f_0^{n-1} & \text{for } n > 0, s = 0 \\ P_o^n f_s^{n-1} + \sum_{i=1}^k P_i^n \sum_{m=1}^{M_i} G_{im}^n \max(F_i + f_{s-m}^{n-1}, f_s^{n-1}) & \text{for } n > 0, s > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (9)$$

不同決策時段 n 剩餘艙位 s 之艙位訂位數 m ，其所帶來的邊際收益也有所不同，其每次訂位數 m 中，平均每一艙位所帶來之邊際收益期望值如式(10)：

$$\delta_m(n, s) = \frac{1}{m}(f_s^n - f_{s-m}^n) \quad (10)$$



第四章 實例驗證

本章主要分為兩個部分，首先將就單席位訂位的部分，比較 Lee & Hersh[5]使用在航空客運之動態數學規劃與本研究之差異，討論當考慮供給不確定性與被拒登機賠償成本時，對於邊際收益的影響。其次，使用台灣地區航空公司目前作業之實例數據分析當供給不確定性或被拒登機賠償成本改變時，對於期望總收益之影響。

4.1 供給不確定性對模式的影響

在實例驗證的部分，主要將模擬現實可能發生的情況加以分析。首先，探討 Lee & Hersh[5]在航空客運使用動態數學規劃模式求解之範例，以了解模式或程式的正確度與可行性。

本節使用 Lee & Hersh 所提出之範例數據，做為模式與程式驗證之基礎。該例題假設決策時段 n 為 30，預設機位數 C 為 10，使用之費率艙等如表 4.1 所示，需求進入的機率如表 4.2 所示。以單席位之訂位模式而言，其邊際收益與決策時段或剩餘艙位間的關係可得出如圖 4.1 與 4.2 的結果，與 Lee & Hersh 在範例中所得之結果大致相同。由此可知，若尚未考慮被拒登機賠償時，在相同的決策時段時，剩餘的艙位越少，其所帶來的邊際收益越多(如圖 4.1)；反之，當固定剩餘艙位時，若越接近班機起飛的時間則其邊際收益越小(如圖 4.2)。

表 4.1 Lee & Hersh 範例一之費率艙等

Class	1	2	3	4
Fare	200	150	120	80

資料來源：[5]

表 4.2 Lee & Hersh 範例一之各艙等需求機率

Request Probability	Decision Period				
	1-4	5-11	12-18	19-25	26-30
P_1^n	0.15	0.14	0.1	0.06	0.08
P_2^n	0.15	0.14	0.1	0.06	0.08
P_3^n	0.00	0.16	0.1	0.14	0.14
P_4^n	0.00	0.16	0.1	0.14	0.14

資料來源：[5]

$\delta(n, s)$

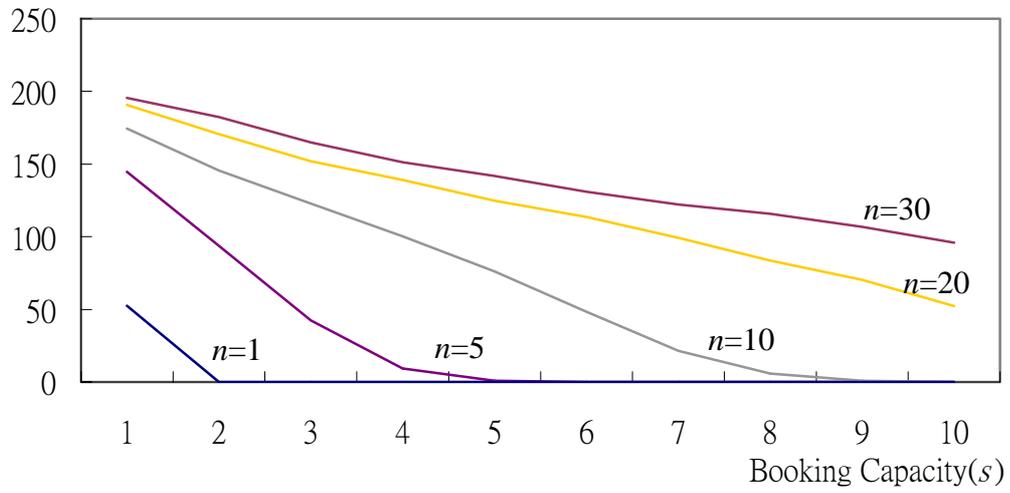


圖 4.1 單席訂位中決策時段 n 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$

資料來源：本研究整理



$\delta(n, s)$

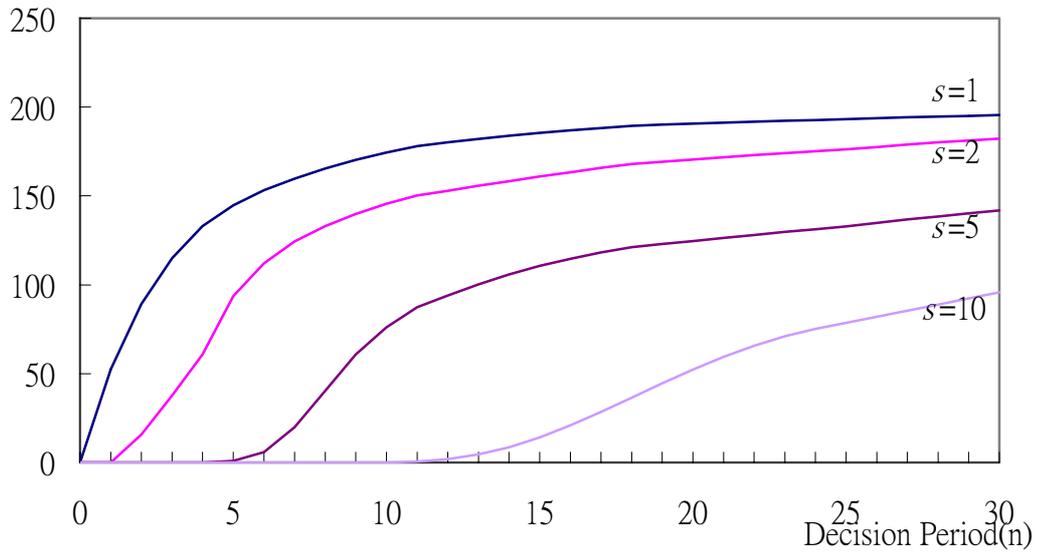


圖 4.2 單席訂位中剩餘機位 s 固定下之邊際收益 $\delta(n, s)$

資料來源：本研究整理

由於航空貨運之艙位供給具有不確定性，而艙位的總供給量須等到班機起飛前($n=0$)才能確定，因此將供給不確定所帶來之被拒登機賠償計算置於決策時段為 0 之期望總收益。由於在模式中加入班機起飛前可能發生之被拒登機賠償，因此其期望總收益普遍會較無考慮被拒登機賠償之期望總收益為低。

以下之範例，參考 Lee & Hersh 範例並加入考量供給不確定性參數，即假設其艙位的供給出現在 8 至 12 的機率相等(如表 4.3)，被拒登機賠償為兩倍最低費率($F_4=80$)，也就是被拒登機賠償函數 $D(b)=-2 \times 80 \times b$ (如表 4.4)。因為預設的艙位數為實際艙位亦為供給量之期望值 $C=10$ 。當艙位的供給出現在低於 10，亦為 8 或 9 時，才會有可能出現被拒登機的情況。若實際艙位供給出現 8 時，則表示只有剩餘艙位 s 小於 2，此時艙位售出超過 8，被拒登機的賠償才會發生。同理，若實際艙位供給為 9 時，只有剩餘艙位小於 1 時，被拒登機的賠償才會發生(如表 4.4)。

上述之假設參數代入後，可得出其邊際收益與決策時段或剩餘艙位間的關係如圖 4.3 與 4.4 所示。而在上述的假設條件下，未考慮被拒登機賠償時的期望總收益由程式計算為 1407.2，但考慮被拒登機賠償後其期望總收益則降低為 1341.9，較原來減少了 4.6%。

表 4.3 實際艙位供給之機率

T	8	9	10	11	12
Probability	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

資料來源：本研究整理

表 4.4 實際艙位供給與其被拒登機臨界點

剩餘艙位數	實際艙位數	被拒登機艙位數 $b=(C-T-s)$	被拒登機賠償 ($D(b)=2F_4 \times b$)	期望總收益 ($f_s^0 = \sum_t Pr(T=t)D(b)$)
s=0	T=8	2	$80 \times 2 \times 2 = 320$	-96
	T=9	1	$80 \times 2 \times 1 = 160$	
	T=10-12	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	
s=1	T=8	1	$80 \times 2 \times 1 = 160$	-32
	T=9	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	
	T=10-12	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	
s ≥ 2	T=8	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	0
	T=9	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	
	T=10-12	0	$80 \times 2 \times 0 = 0$	

資料來源：本研究整理

$\delta(n,s)$

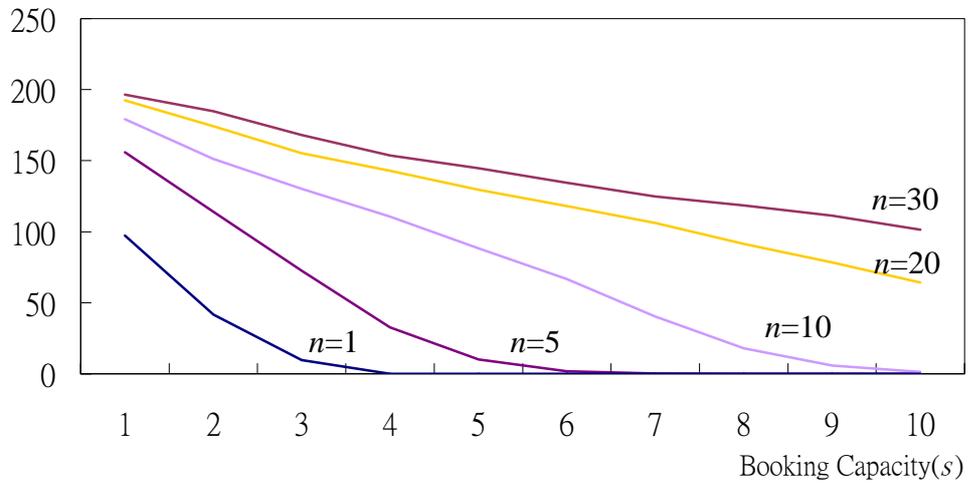


圖 4.3 考慮供給不確定性之單席訂位中決策時段 n 固定下之邊際收益 $\delta(n,s)$
 資料來源：本研究整理

$\delta(n,s)$

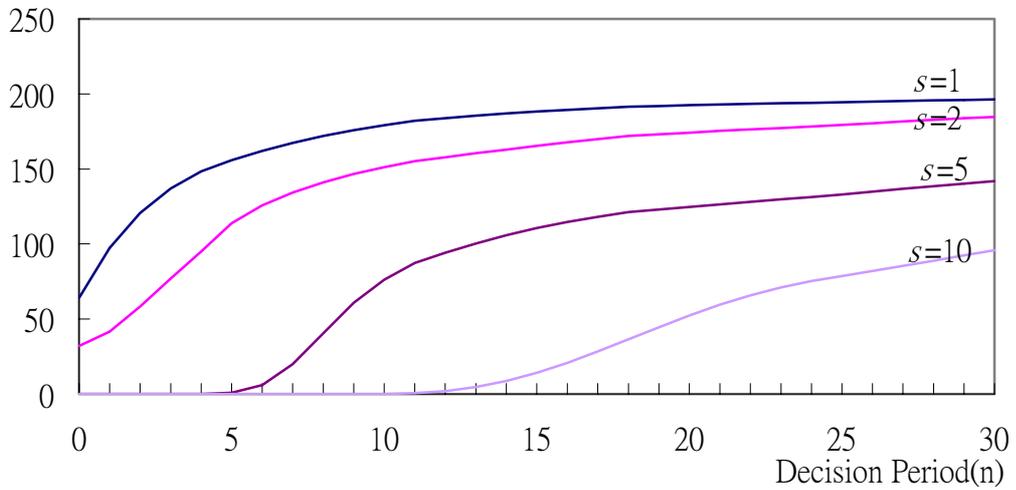


圖 4.4 考慮供給不確定性之單席訂位中剩餘艙位 s 固定下之邊際收益 $\delta(n,s)$
 資料來源：本研究整理

圖 4.1 與圖 4.3 分別為「無供給不確定性」與「考慮供給不確定性」之單席訂位中決策時段固定下之邊際收益圖。此兩圖的曲線趨勢大致相同，但由於圖 4.3 有加入考慮供給不確定性，當班機起飛前一刻考慮被拒登機賠償成本，因此當接近起飛前(如 $n=1$ 之曲線)剩餘艙位數較少時，其邊際收益會稍微大一點。

圖 4.2 與圖 4.4 為「未考慮被拒登機賠償」與「考慮被拒登機賠償」之單席訂位中剩餘艙位固定下之邊際收益圖。此兩圖的曲線趨勢亦大致相同，尤其當剩餘艙位數越多時，其邊際收益幾乎一致。但由於圖 4.4 在班機起飛前加入考慮供給不確定性，因此當剩餘艙位較少時(如 $s=1$ 或 2)，且接近班機起飛時，其邊際收益則明顯地較高。

由上述可知，在 Lee & Hersh 的範例中加入考慮供給不確定性時，對於期望總收益之改變不是非常明顯，其邊際收益之曲線趨勢亦大致相同。可能是因為在此假設之供給不確定的變動情況並不明顯($s=8-12$ ，各總供給量出現機率相同)，而 2 倍之賠償倍數亦不大之故。而當越靠近班機起飛時間，剩餘艙位數若會影響是否有被拒登機貨物產生時，其邊際收益則明顯地變得較高。另外，當班機起飛前($n=0$)，由於在此計算供給不確定所帶來之被拒登機賠償成本，因此造成保留艙位不售出時亦有其邊際收益的情況發生。

4.2 實例之假設條件分析



就「艙位供給」部分，針對從國內某航空公司九十三年度一、二月之台北到洛杉磯的波音 747-400 全貨機班機資料，由所蒐集到的班機運送容量資料可以發現，各班機總艙位供給量的出現機率大致呈現常態分布。因此經配適(fitting)後在模式中假設班機總艙位供給量為以均數為 100，標準差為 3.07 之常態分布，但容量範圍則取以均數為中心之加減各四倍標準差，亦為從 87.7 噸至 112.3 噸。而為減低運算之複雜度，因此使用 1 噸為基本的艙位單位，因此若總艙位供給量為 100 噸，即代表此班機有 100 個艙位可被訂位，經上述離散(discrete)後之分佈圖如圖 4.5 所示。另外，假設平均每公斤費率約為 100 元。

其次，在「需求進入」的部分，「多席訂位之分布」則使用 Lee & Hersh[5]所提出之卜松過程(Poisson process)做為在各決策時段中需求進入的機率。而根據所獲得的貨機訂位資料可以發現，平均每架貨機所運送的訂單數約有 40 張，平均每張訂單訂位量約有 2.5 噸，標準差為 1.78 噸。由於目前貨運無分艙等，因此假設各艙等的多席訂位分配一致，大致呈現均數為 2.5 噸的普松分配，如圖 4.6。多席訂位之訂位上限則假設為 10 噸。為控制每個決策時段至多只有一個訂位需求進入，兩個以上訂位需求出現的機率近似為 0；因此從開始接受訂位到班機起飛的時間切為 300 個決策時段，使每個決策時段出現兩個訂位需求進入的機率約略為 0.01。

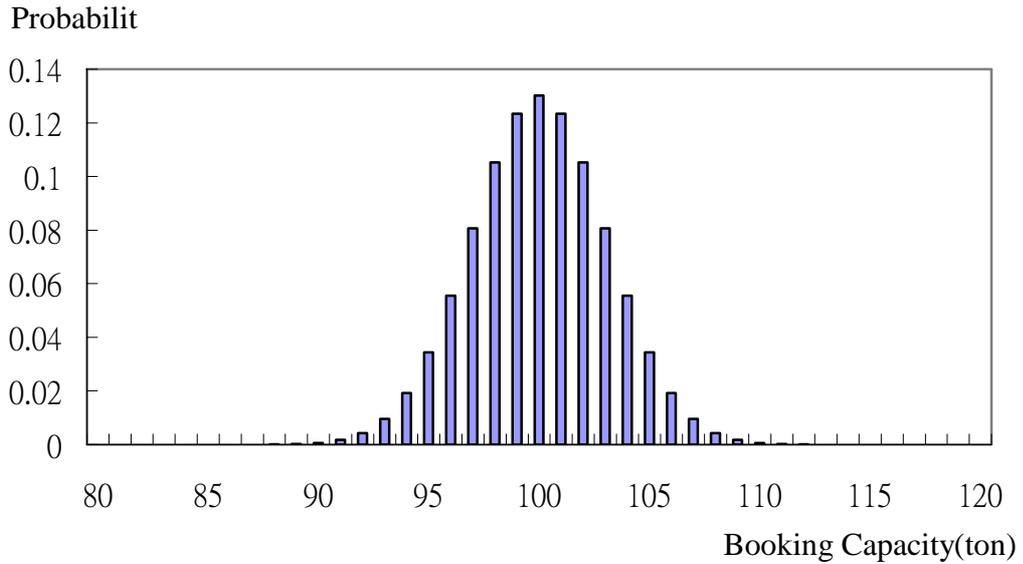


圖 4.5 艙位供給量機率分布

資料來源：本研究整理

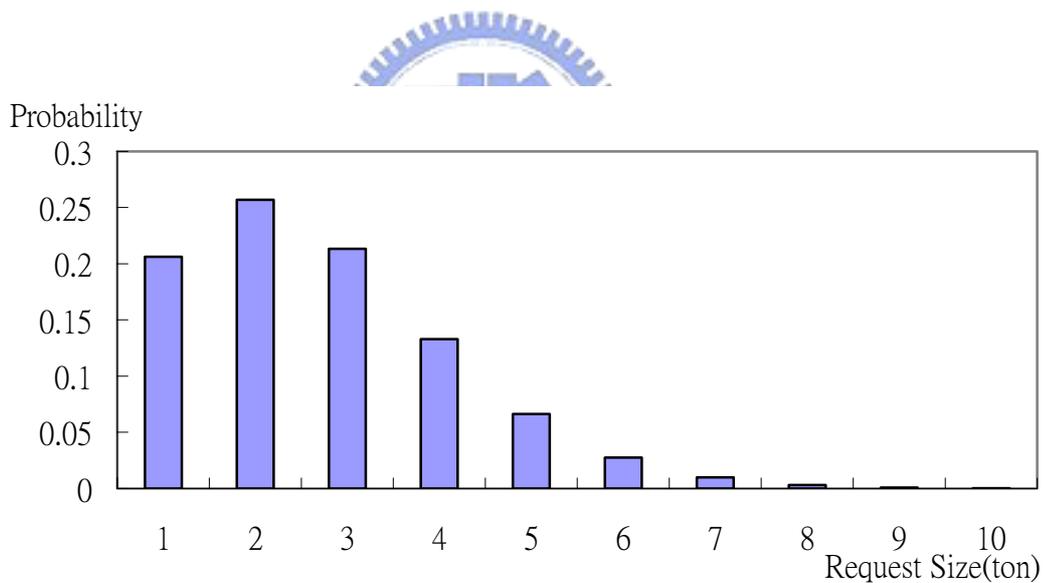


圖 4.6 多席訂位出現機率

資料來源：本研究整理

由於目前貨運並無「費率艙等」之區分，因此在費率艙等的假設上，可以參考 Yeoman[11]提及，貨運在區分艙等時，可考慮依據貨物上機的重要性分為三種艙等：

- ◆ 高價位艙等—一定要運送。
- ◆ 中價位艙等—應該要運送。
- ◆ 低價位艙等—當有空間時才運送(上述兩艙等貨物上機後剩餘的艙位，以表 4.5 為例，則此費率艙等應佔班機總艙位的 25%)。

在此假設分為三個費率艙等，費率與所佔比例如下表 4.5，其中加權各艙等比例之期望利益恰為 100：

表 4.5 各費率艙等假設條件

艙 等	費率 (元/公斤)	占所有訂位的比例
class 1	$f_1= 125$	0.15
class 2	$f_2= 100$	0.6
class 3	$f_3= 85$	0.25

資料來源：本研究整理

因「供給不確定」而導致被拒登機發生時，根據航空客運的處理方式是先從費率最低的艙等選取無法上機的乘客；因此在航空貨運上對於因供給不確定而產生無法上機的貨物，亦先從費率最低的艙等開始選取無法上機的貨物，在此最低艙等費率為 f_3 。賠償被拒登機的計算方式，則是依據無法上機的貨物重量計算，每公斤無法上機的貨物賠償數倍(d)之最低費率。代入第三章所述之被拒登機賠償函數($D(b)$ ， b 為被拒登機的重量)，則如下式(11)所示：

$$D(b)=d \times f_3 \times b \tag{11}$$



4.3 實例期望總收益之分析

本節主要討論「供給不確定性」與被「拒登機賠償」對於「期望總收益」之影響，其中代表供給不確定性之參數，以總艙位供給量之機率分配(以下簡稱為供給分配)標準差之倍數(sd)表示—在此使用供給分配之標準差以 3.07 為基準取 sd 倍。而被拒登機之賠償參數則使用上節所提出之賠償倍數(d)—在此使用每公斤之被拒登機貨物賠償最低費率 85 之 d 倍。當供給分配的標準差越大時，則代表供給量變動程度越大，藉由供給分配的變動程度來顯示其供給不確定的程度。為簡化數字，並且讓供給不確定與被拒登機賠償之影響更顯著，因此下述各節所使用之圖表，則是使用對應無供給不確定($sd=0$)與被拒登機賠償($d=0$)之期望總收益($f_{100}^{300}=10,060,000$)之比值，以方便比較各參數對於期望總收益之影響。

表 4.6 被拒登機賠償倍數與供給分配標準差對期望總收益之影響

$d \backslash sd$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90
2	1	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81
3	1	0.98	0.95	0.93	0.90	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74
4	1	0.97	0.95	0.91	0.88	0.85	0.82	0.78	0.75	0.72	0.68
5	1	0.97	0.94	0.90	0.87	0.83	0.79	0.76	0.72	0.68	0.64
6	1	0.97	0.93	0.89	0.86	0.82	0.78	0.74	0.69	0.65	0.61
7	1	0.97	0.93	0.89	0.85	0.80	0.76	0.72	0.67	0.63	0.59
8	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.79	0.75	0.70	0.66	0.61	0.56
9	1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79	0.74	0.69	0.64	0.60	0.55
10	1	0.96	0.92	0.87	0.83	0.78	0.73	0.68	0.63	0.58	0.53

資料來源：本研究整理

4.3.1 被拒登機賠償參數之敏感度分析

當其他條件不變，假設被拒登機賠償函數之倍數(d)從 0 到 10，則賠償倍數(d)對於期望總收益的影響如下圖 4.7 所示。圖中取三個表 4.6 的欄位，各代表供給分配標準差為原來 1 倍($sd=1$)、4 倍($sd=4$)與 8 倍($sd=8$)的曲線。

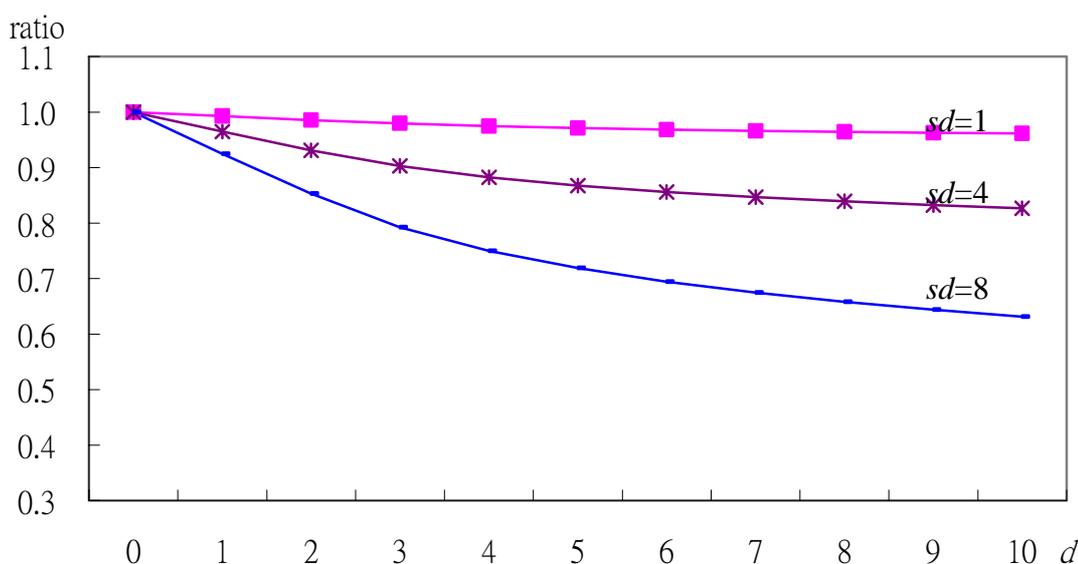


圖 4.7 被拒登機賠償對期望總收益之影響

資料來源：本研究整理

由被拒登機賠償對於期望收益之影響分析可得出如下結果(參圖 4.7)：

1. 如果未考慮被拒登機賠償時，則供給不確定的程度再高，對於期望總收益仍沒有影響。

由圖 4.7 三條曲線的起點相同可發現，當被拒登機賠償倍數為 0 時，則代表對於無法上機的貨物不給予賠償；因此即使供給具有不確定性，因為沒有賠償，所以對於總收益完全不會影響。由此可發現，當考慮供給不確定性時，若不上加對於貨物被拒登機之賠償成本，則計算結果對於期望總收益則完全沒有影響。

2. 當供給越確定，則被拒登機賠償倍數對於期望總收益之影響則越有限。

由圖 4.7 曲線下降的程度可以發現，當賠償倍數越大，期望總收益則越低。可是賠償倍數越大時，對於期望總收益的影響卻越小，雖然期望總收益仍略為降低，但是減少的程度已經越來越小了。而當賠償倍數大到某一程度時，對於期望總收益的影響已經幾乎可以忽略了。這可能是由於當賠償倍數較大時，則航空公司在處理可能造成被拒登機之訂位越謹慎，則越傾向拒絕接受訂位，因此真正被拒絕登機的貨物則減到最少。此時，由於可能造成被拒登機的訂位一律拒絕，因此被拒登機的賠償倍數再大，對於期望總收益也不會有影響。

3. 若航空公司無法確定各航機供給的狀況，則決定一個最佳的超賣賠償倍數，對於航空貨運之營收管理而言是十分重要的部分。

因此，可以發現航空公司雖可以掌握超賣賠償的部分，但是對於期望總收益之影響卻十分有限。只有當供給不確定性程度越大時，被拒登機賠償對於期望總收益之影響才較為顯著。但通常一家航空公司之超賣賠償應該是固定倍數，而供給不確定的程度又不容易掌握，因此如何決定最佳的超賣賠償倍數則是航空公司應該注意的部分之一。

4.3.2 供給不確定性參數之敏感度分析

當其他條件不變，假設供給分配之標準差(sd)從 0 到 10，則標準差倍數(sd)對於期望總收益的影響如下圖 4.8 所示。圖中取三個表 4.6 的橫列，分別代表被拒登機賠償倍數為 2 倍($d=2$)、5 倍($d=5$)與 10 倍($d=10$)。

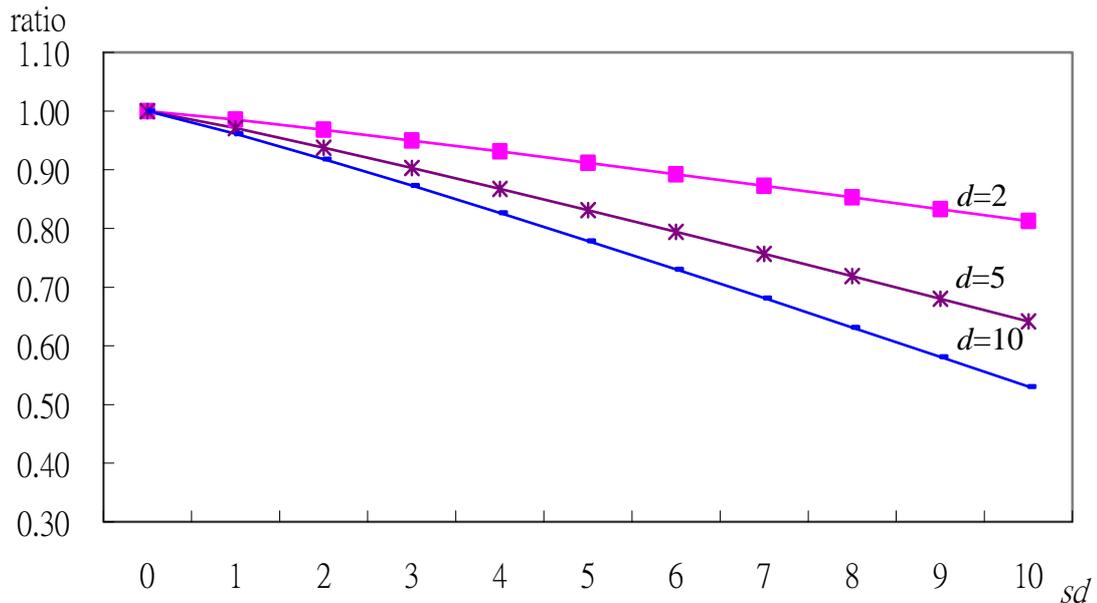


圖 4.8 供給不確定性對期望總收益之影響

資料來源：本研究整理

由供給不確定性對於期望總收益之影響分析，可得出以下幾點結果(參圖 4.8)：

1. 當供給無變動時($sd=0$)，顯示預設之艙位數與實際情況一致，故被拒登機情況不會發生，故期望總收益不變。

由圖 4.8 三條曲線之起點相同可以發現，當供給分配之標準差倍數為 0($sd=0$)時，則代表供給無變動，為供給分配之均數($T=100$)，亦為預設的艙位總數($C=100$)，由於預估與實際艙位數量一致，因此則不會有被拒登機的情況發生，超賣賠償即不發生作用，對於期望總收益將不會有影響。

2. 供給不確定性程度對於期望總收益之影響十分顯著。

由圖 4.8 曲線下降的程度可以發現，當固定賠償倍數的情況下，艙位供給分配變動愈大時，則越無法掌控實際出現之總艙位數，被拒登機的情形將較明顯，因此賠償的數目也越多，則使期望總收益下降越多。而且當供給分配的標準差愈大時，對於期望總收益的減少程度將愈明顯。

3. 因此在貨運艙位的營收管理上，盡量掌握正確的艙位數量，使變動程度達到最小，是十分重要的。

當艙位的總供給量變動程度越大時，由於此時所能掌握的只有被拒登機之賠償倍數，因此應盡量減少貨物被拒登機之賠償倍數，以使期望總收益受供給不確定影響之程度盡量減輕。反之，若艙位供給十分確定時，則航空公司可以考慮採取高被拒登機賠償倍數的策略以吸引顧客。

4.4 實例艙位控管政策分析

以下將就「訂位規模」、「供給不確定性之參數」與「被拒登機賠償參數」此三方面，討論其艙位控管政策之影響。

因延續 4.3 所使用之實例假設，故以下分析使用實際資料所得出之標準差 3.07，其供給分配標準差之倍數(sd)為 1；由於目前被拒登機的處理方式普遍是被拒登機的貨物免收運費並賠償一倍價格，故被拒登機賠償倍數(d)為 2。根據 $d=1$ 、 $sd=2$ 繪出各艙等的訂位政策分布圖如圖 4.9。

4.4.1 訂位規模對於艙位控管之影響

圖 4.9 使用不同的顏色區塊來顯示不同的訂位政策。以白色顯示不接受訂位的部分，其他由深至淺表示接受訂位之費率艙等範圍往低費率艙等增加。黑色為只接受最高費率艙等之訂位，灰色則接受最高與次高費率艙等之訂位，淺灰色則顯示三種費率艙等訂位皆接受。由於接受的最高艙位數為 10 噸，因此挑出其中訂位數為 1(圖 4.9(a))、3(圖 4.9(b))、5(圖 4.9(c))、7(圖 4.9(d))的部分來討論，整理出結論如下：

1. 各艙等接受訂位之分界，隨決策時段與剩餘艙位將有所調整。

圖 4.9 之各子圖從左上角看至右下角，均可發現兩條明顯之分界，區分出三種訂位策略之分別。當決策時段越靠近班機起飛時間(向左)，或是剩餘艙位越多時(向上)，則越應該將艙位售給低費率艙等的需求，因為此時艙位的邊際收益已逐漸變少，故應該盡量將艙位賣出。反之，當決策時段越遠離班機起飛時間(向右)，或是剩餘艙位越少時(向下)，則越應該將艙位售給高費率艙等的需求，因為此時艙位的邊際收益較高，故應該盡量將艙位保留給較高價的需求。

2. 訂位規模的不同會衍生出不同的訂位政策。

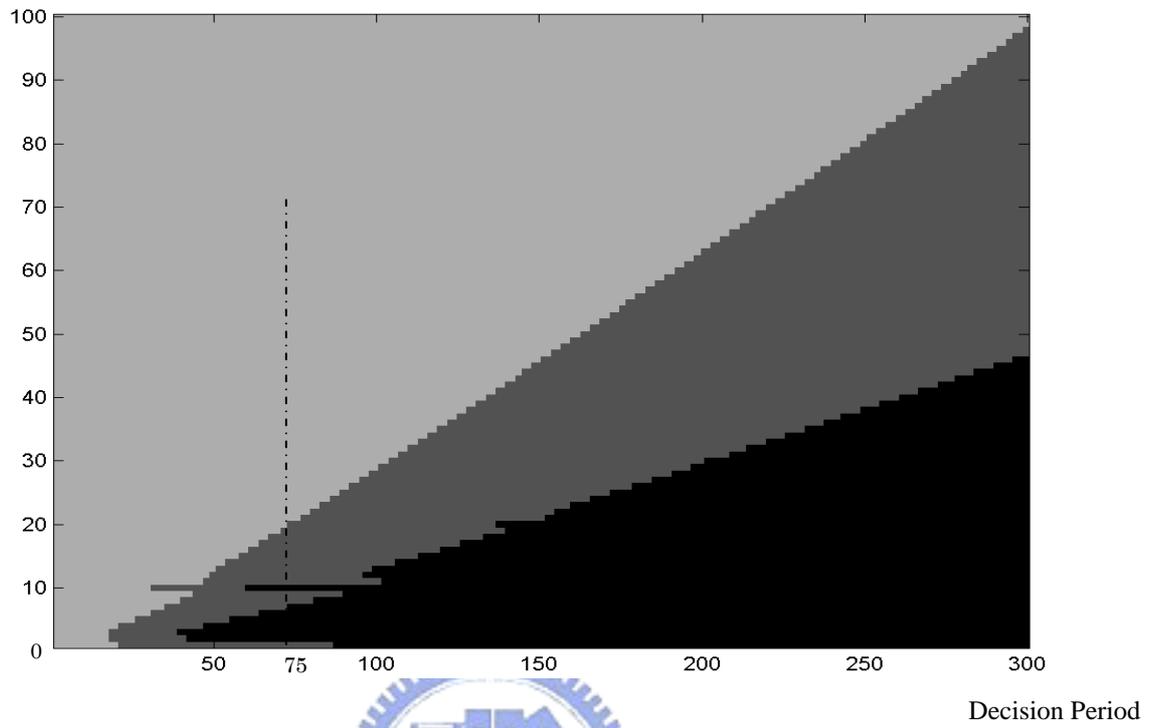
比較圖 4.9 各子圖可發現在不同訂位規模時，其艙位控管政策亦有些微不同。主要是因為當訂位規模越大時，其所使用之有限艙位資源越多，因此航空公司傾向將這些艙位保留給高費率艙等的需求。故在相同決策時段(n)與剩餘艙位(s)的情況下就算訂位規模較小的訂位政策已開放給較低費率艙等的訂位需求；但訂位規模較大的部分仍有可能保留給較高的費率艙等的訂位需求。

3. 當訂位規模越大時，則集中保留艙位給較高費率艙等的情會越不明顯。

在 Lee & Hersh 文獻中提出之訂位政策，針對多席訂位中，都會產生集中艙位保留給高費率艙等訂位需求的情況，其成因主要來自於座位邊際收益遞減的特性已不存在。而在圖 4.9 中也出現類似的情形。但圖 4.9 各圖比較可發現，如以圖 4.9(a)訂位規模為例，當決策時段為 75 時，可以發現其接受的費率艙等由下到上依序為(1、2)，(1)，(1、2)，(1)，(1、2)，(1、2、3)顯示艙位之邊際收益隨艙位之減少有上升又下降的情形。且當訂位規模越大時，其則集中艙位保留給高費率艙等的情況則越不明顯。這是因為當訂位規模愈大時，則集中艙位保留給高費率艙等的情況則越不明顯。

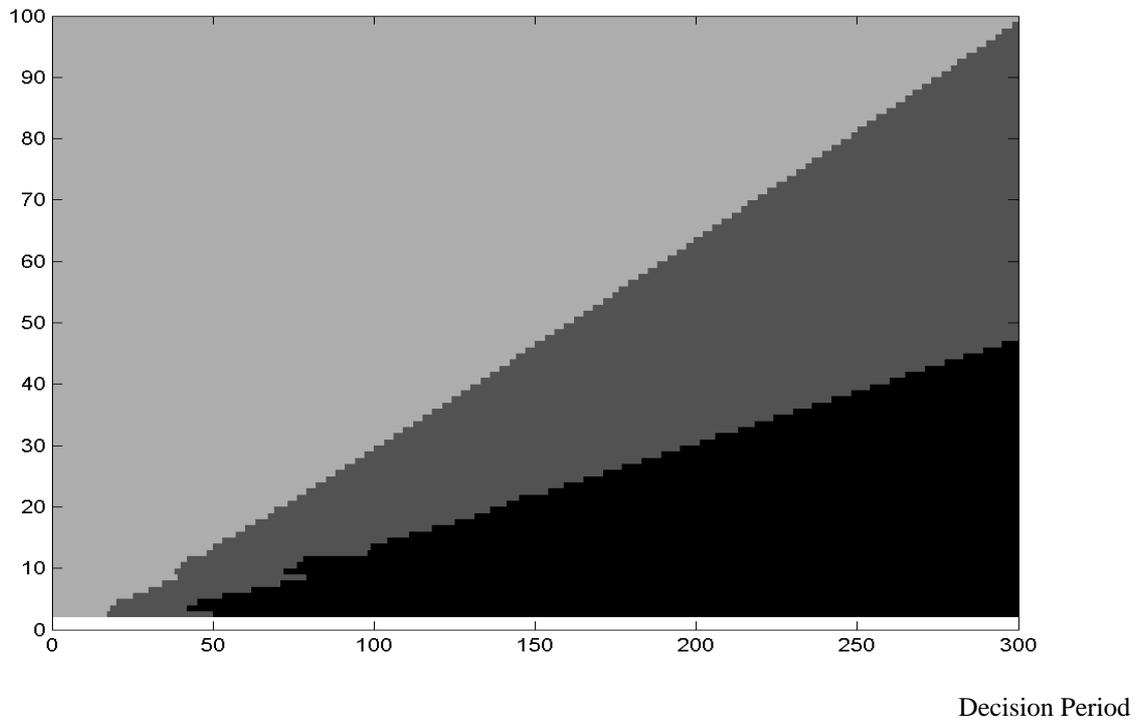
(a) Request Size=1

Booking Capacity



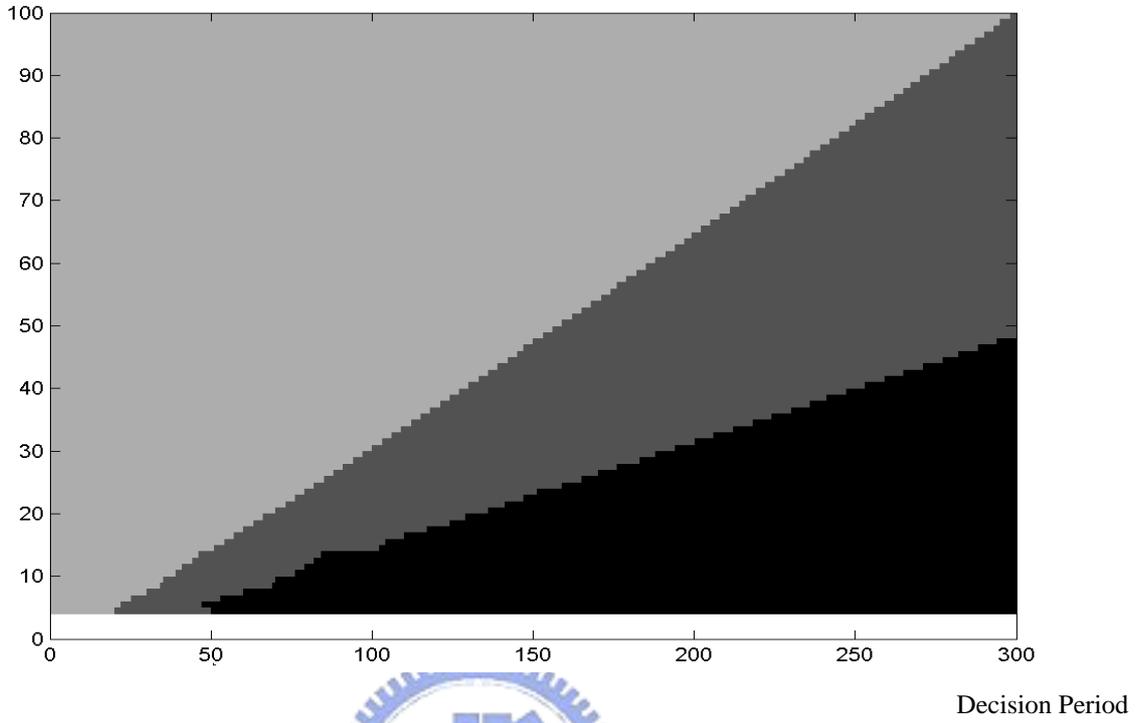
(b) Request Size =3

Booking Capacity



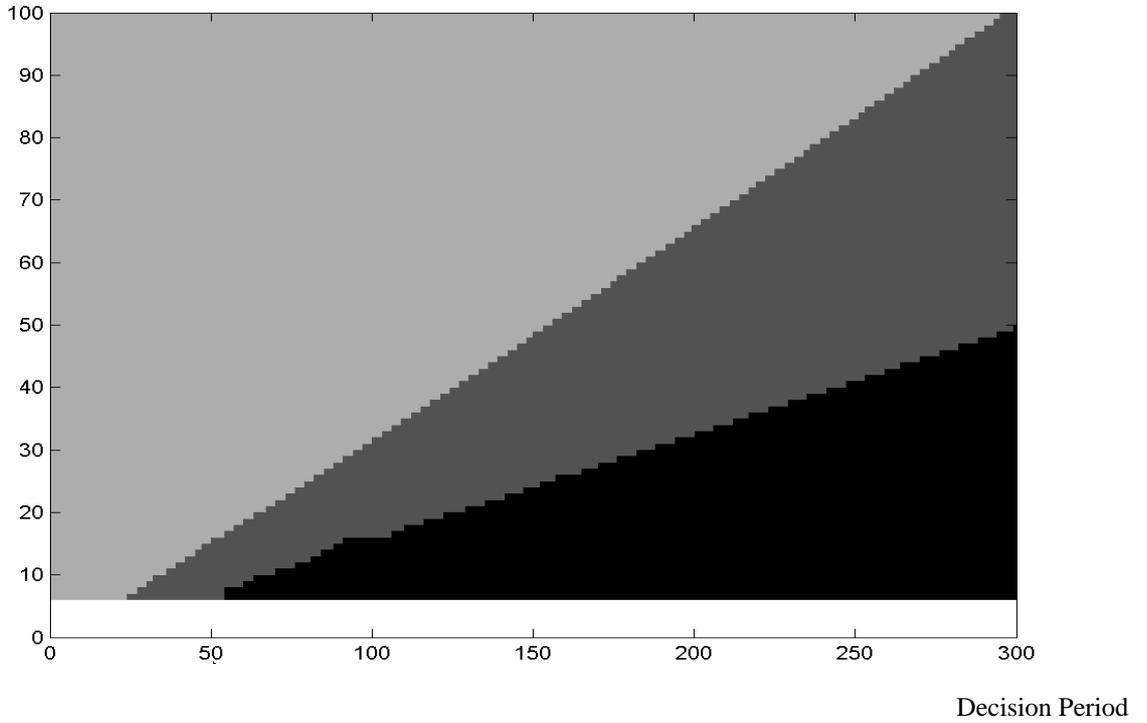
(c) Request Size =5

Booking Capacity



(d) Request Size =7

Booking Capacity



- 不接受訂位
- 只接受最高費率艙等的訂位
- 只接受最高與次高費率艙等的訂位
- 三種費率艙等訂位皆接受

圖 4.9 各時期的訂位政策

資料來源：本研究整理

4.4.2 供給不確定性與被拒登機賠償對於艙位控管政策之影響

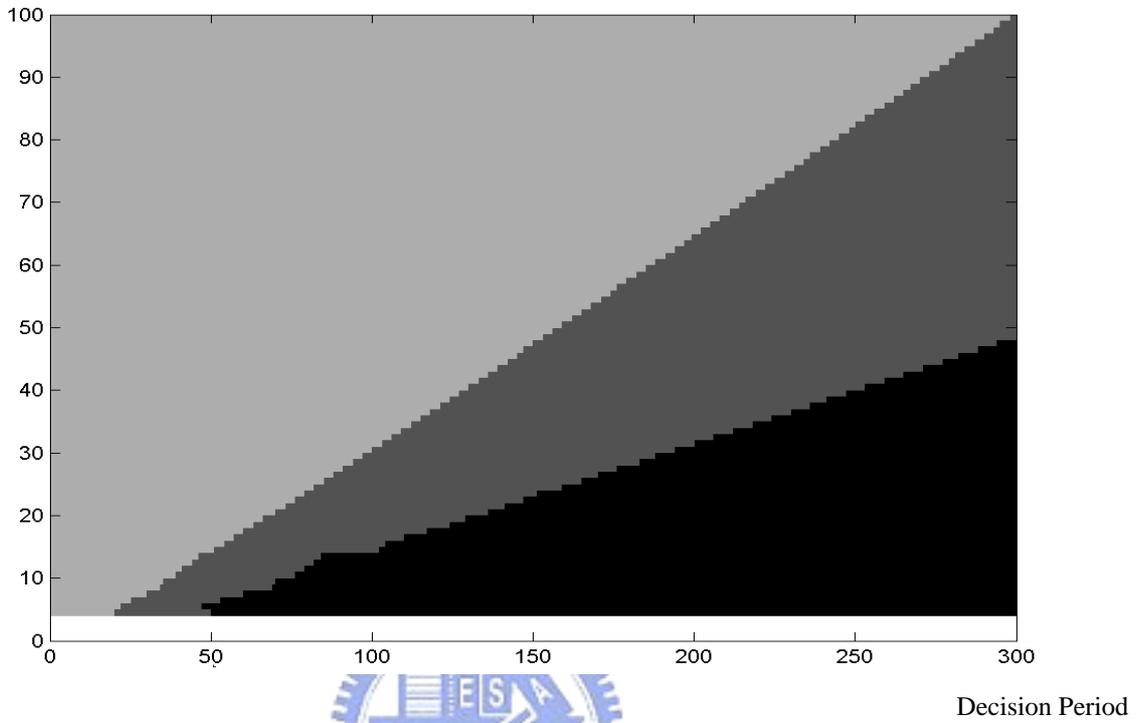
為顯示供給不確定性與被拒登機賠償對訂位政策之影響，以下以訂位規模 5 供給不確定性之參數 $sd=1$ 與被拒登機賠償倍數 $d=1$ 為基礎(如圖 4.10(a))，探討在供給不確定性之參數與被拒登機賠償倍大幅變動後，其訂位政策的差異。其中圖 4.10(b)將被拒登機的賠償倍數由 2 提升到 10，圖 4.10(c)將供給不確定性之參數由 1 增加至 8，圖 4.10(d)則同時提升供給不確定性之參數至 8 與被拒登機賠償倍數至 10。

比較當更動供給不確定性參數與被拒登機賠償參數時，對於艙位控管政策的影響狀況，可分析得知以下幾點：

1. 被拒登機的賠償倍數增加(如圖 4.10(b))時，則保留未售出的艙位數增加，如圖最下緣白色部分，這是因為航空公司為減少收益之損失，而將更謹慎判斷是否接受可能造成被拒登機情況之訂位需求。
2. 供給越不確定時(如圖 4.10(c))，由於此時被拒登機之機率增加，為減少被拒登機賠償之損失，故會保留艙位售給較高費率艙等的需求。因此可看出艙位控管政策之接受費率艙等邊界會往上移。
3. 當同時考慮供給不確定與被拒登機賠償時，若無法盡量降低其中一項的數值時，將會使得整個期望總收益與訂位政策有大幅度的變化。由圖 4.10(d)可以發現，艙位控管政策之接受費率艙等邊界往上移的幅度增加許多並保留更多艙位未出售。
4. 由上述總結，當供給越不確定時，則應該減少被拒登機的賠償，或考慮放鬆賠償的條件；像是保證下班飛機一定會上去，或者是限制貨物為固定的時間配上機而非固定上某架班機等。而當供給十分確定時，由於總艙位數的變化十分小，因此被拒登機的貨物也十分有限，則可盡量將被拒登機的賠償放大以吸引顧客。

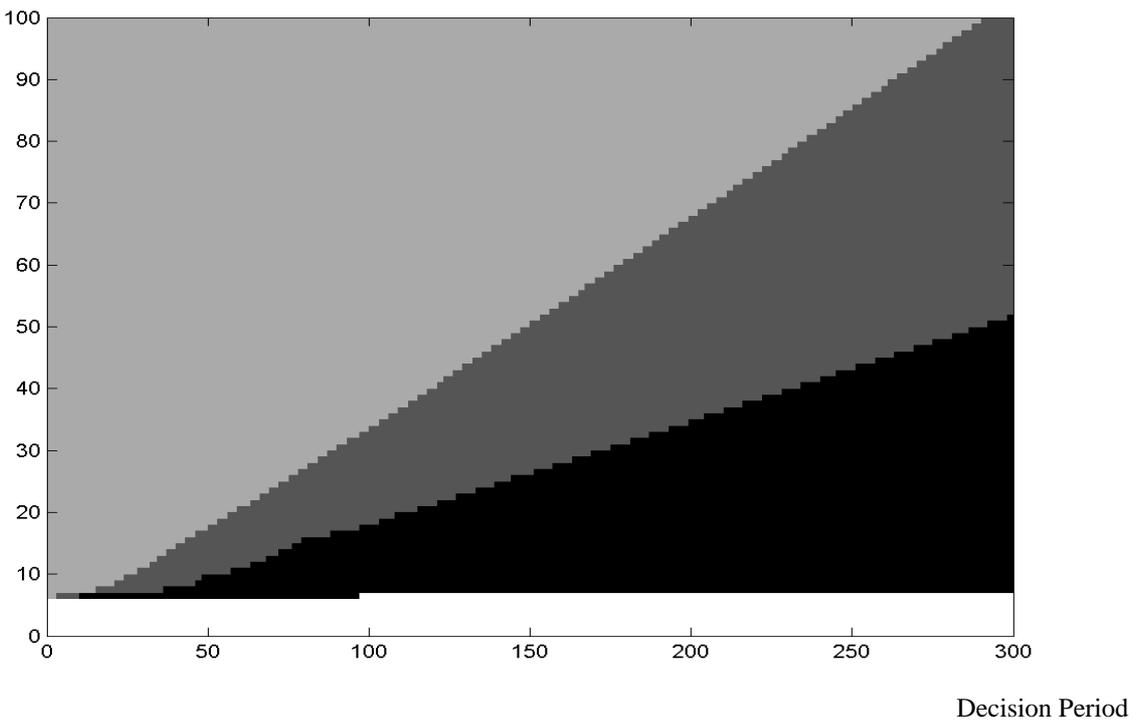
(a) Request Size = 5, $d=2$, $sd=1$

Booking Capacity



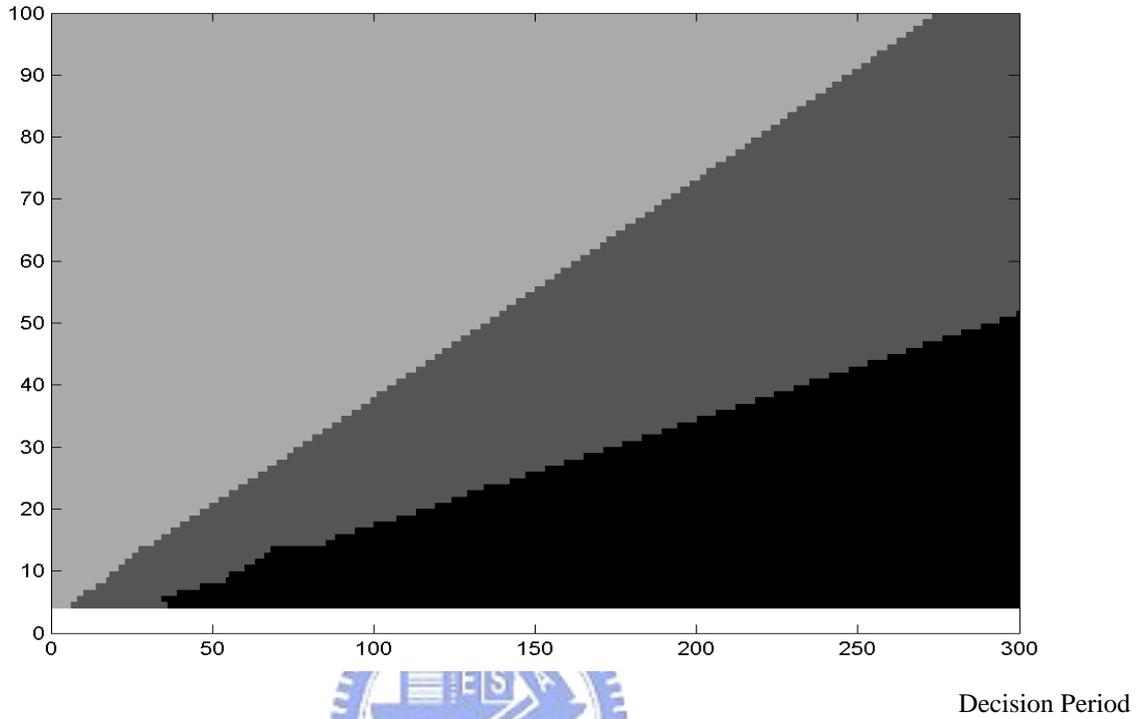
(b) Request Size = 5, $d=10$, $sd=1$

Booking Capacity



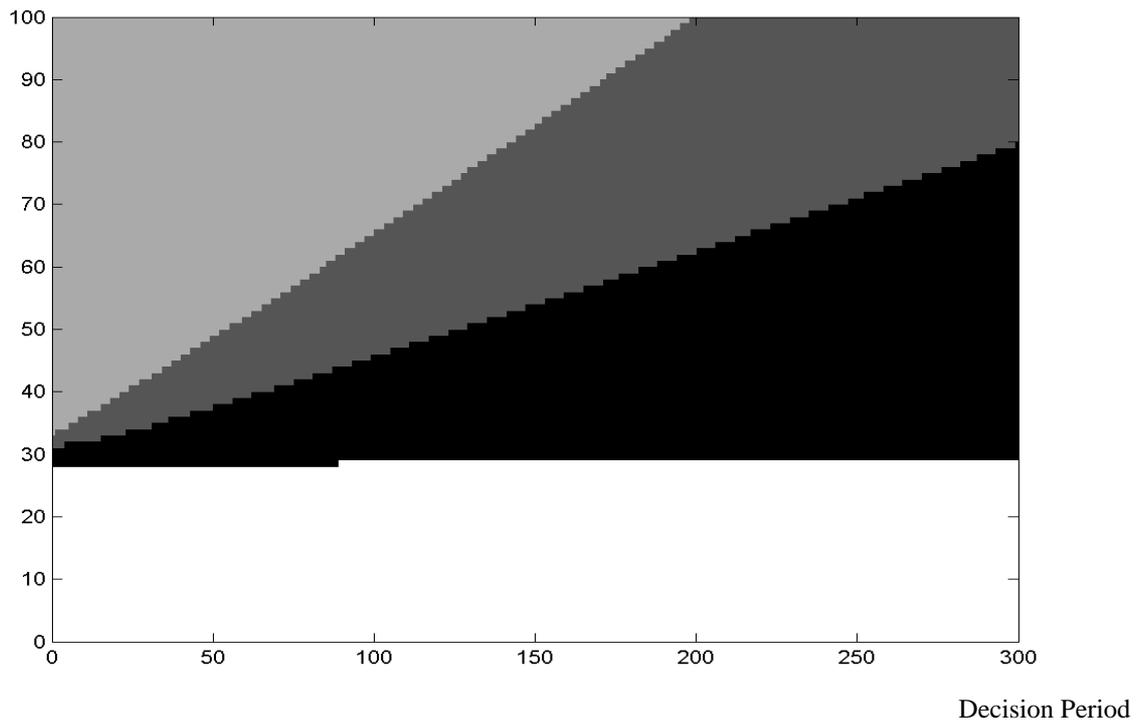
(c) Request Size =5, $d=2$, $sd=8$

Booking Capacity



(d) Request Size =5, $d=10$, $sd=8$

Booking Capacity



- 不接受訂位
- 只接受最高費率艙等的訂位
- 只接受最高與次高費率艙等的訂位
- 三種費率艙等訂位皆接受

圖 4.10 不同供給分配標準差與被拒登機賠償倍數之訂位政策

資料來源：本研究整理

4.5 小結

由上述分析可以發現，可以發現當只考慮單席訂位時，若代入一些實際數據到模式中，則可以得到與 Lee & Hersh 文獻中相近的答案，惟當決策時段靠近班機起飛前，若剩餘艙位將影響此時是否會有被拒登機的艙位發生時，則這部分的艙位之邊際收益將明顯有偏高的情形(參圖 4.1 與圖 4.3)。而到了多席訂位時，經由對於被拒登機賠償與供給不確定性之敏感度分析，則可發現當艙位具有供給不確定性時，將會使得期望總收益伴隨著某種程度的減少。並且由於模式中加入了考慮供給不確定性與被拒登機的賠償，因而會使得航空公司有可能會保留部分的艙位閒置而不予出售，這也是與航空客運艙位控管策略中最大的不同點—航空客運總是盡量將所有艙位售出。

在此使用的範例皆假設需求到達的情況與實際供給艙位量一致，而得出上述種種結論。而當艙位的需求與供給量不一致時，目前可大略得知被拒登機賠償與供給不確定性對於期望總收益之影響大致與圖 4.7 與圖 4.8 的曲線趨勢大略相同；其管理決策上的異同則有待商榷。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究希望藉由目前普遍應用至航空客運業之營收管理觀念應用至航空貨運業的經營管理上，將有限的貨運艙位妥善規劃控管，以期提升航空公司的總收益。

就營收管理的角度而言，目前航空客運之營收管理之所以十分成功，而航空貨運卻無法如客運般廣為使用的主要差異在於，由於貨運的艙位受到許多的因素所影響，而產生的「供給不確定性」(Supply Uncertainty)，以及因艙位供給無法固定而衍生之「被拒登機」(Denied Boarding)貨物之補償成本。

以上述二項因素為基礎，研究中利用隨機序程來描述貨運艙位的需求特性，建構出一個可用以描述航空貨運艙位存貨控制之動態規劃模式。由此提供航空公司貨運艙位的控管策略，並達到追求期望總收益最大化的目標。

實例分析中並依據台灣地區某航空公司的實際營運與作業資料，對模式進行驗證；並就模式中的二項重要因素「供給不確定性」與「被拒登機補償」針對期望總收益進行敏感度分析。研究結果發現，當艙位供給相對穩定時，被拒登機補償的提高對於期望總收益之影響有限。再由供給不確定之敏感度分析結果發現，供給不確定性對於期望總收益的影響極為顯著；當供給不確定的程度相對較大時，其期望總收益降低的程度將十分顯著。顯示航空公司若欲透過營收管理提高其總收益，應從有效地掌握各航班的艙位供給量開始。因此，航空公司若想有效增加營收，則應由掌控其實際艙位數量著手；將艙位的實際供給量變動程度減到最低，再搭配高倍數的被拒登機賠償，應可有效地吸引客戶並增加收益。

其次，由訂位規模對「艙位控管」之影響分析中可發現，當訂位規模越大時，由於航空公司此時面臨的訂位決策對於期望總收益之影響愈大；因而航空公司將會傾向保守的態度，較不容易接受較低訂費率艙等的訂位需求。而若變動供給不確定性參數或被拒登機賠償參數時，將會發現若是將供給不確定性的參數變大時，由於被拒登機的發生機率較高，而賠償的倍數又是以最低費率艙等為基礎，因此航空公司應考慮將艙位盡量以高費率賣出，以減少可能發生的損失。而若是將被拒登機之賠償倍數增加時，則會發現航空公司保留未售出之艙位數應增加；此是，由於被拒登機的賠償十分高，因而有可能造成被拒登機之艙位，航空公司將會不與售出，而有剩餘艙位出現的情況。

5.2 建議

本研究目前的重點係針對簡化的單一航段起訖點(Single-Leg)的問題，因此建議未來之相關之後續研究可增加討論以下幾點：

1. 本研究對於航空貨運之艙位存貨管理而言，只考慮單一起訖點的航段。因而後續之相關研究，就航線部分可從起訖點(OD)甚至是網路部分著手。
2. 就需求特性的部分可加上考慮超賣與未出現的機率，將這些因素適當地反映在模式當中。
3. 本研究利用台灣地區某航空公司的實際營運與作業資料分析出 93 年 1、2 月台北到洛杉磯的波音 747-400 全貨機的大略供給分布狀況並假設供給量 C 已知，後續可探討如何適切地反映到模式中判斷出最佳的預設艙位供給量(C)，尤其須考量客機的機腹艙位供給影響因素要較全貨機為多。
4. 本研究並未深入討論如何將航空貨運分出費率艙等並制定費率的部分；由於目前航空公司大多依據以往合作關係與承攬業者議價，因而如何恰當地分出費率艙等並制定最佳費率而不影響客源，將會是未來航空貨運營收管理上的一大難題。



參考文獻

國外文獻

- [1] Peter P. Belobaba, "Application of A Probabilistic Decision Model to Airline Seat Inventory Control", *Operations Research* 37, no.2, 183-197, 1989.
- [2] S. L. Brumelle and J. I. McGill, "Airline Seat Allocation with Multiple Nested Fare Classes", *Operations Research* 41, no.1, 127-137, 1993.
- [3] Renwick E. Curry, "Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations", *Transportation Science* 24, no.3, p193-204, 1990.
- [4] R. G. Kasilingam, "Air Cargo Revenue management: Characteristics and Complexities", *European Journal of Operational Research* 96, 36-44, 1996.
- [5] Tak C. Lee and Marvin Hersh, "A Model for Dynamic Airline Seat Inventory Control with Multiple Seat Bookings", *Transportation Science* 27, No.3, 252-265, 1993.
- [6] Jeffrey I. McGill and Garrett J. Van Ryzin, "Revenue management: Research Overview and Prospects", *Transportation Science* 33, no.2, 233-256, 1999.
- [7] Lawrence W. Robinson, "Optimal and Approximate Control Policies for Airline Booking with Sequential Nonmonotonic Fare Classes", *Operations Research*, Vol.43, No.2, p252-263, 1995.
- [8] Barry C. Smith, John F. Leimkuhler and Ross M. Darrow, "Yield Management at American Airlines", *Interface* 22, no.1, 8-31, 1992.
- [9] Lawrence R. Weatherford and Samuel E. Bodily, "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing", *Operations Research* 40, no. 5, p.831-844, 1992.
- [10] Richard D. Wollmer, "An Airline Seat Management Model for A Single Leg Route When Lower Fare Classes Book First", *Operations Research* 40, no.1, 26-37, 1992.
- [11] Ian. Yeoman, *Yield management*, Continuum, 2000.

國內文獻

- [12] 石豐宇、黃瑞財,「以非均質卜桑過程建構多席航空訂位需求預測模式」, *運輸計劃季刊*, 卷 25, pp665-680, 1996。
- [13] 石豐宇、郭維杰,「多席訂位與多重行程之動態艙位規劃分析」, *運輸計劃季刊*, 卷 28, pp565-592, 1999。
- [14] 李高彥, 定期貨櫃海運業應用收益管理之研究, 國立交通大學運輸科技與管理學系

碩士論文，1995

- [15] 李啟安，貨櫃航商收益管理之研究—以艙位分配為例，國立成功大學交通館理學系碩士論文，2001。
- [16] 汪進財、張喜美，「不確定需求下鐵路列車錯為之管理—台鐵訂位系統之分析」，*運輸計劃季刊*，卷 26，pp1-19，1994。
- [17] 汪進財、蔡言宏，「航空公司超額訂位控制策略之研究」，*運輸計劃季刊*，卷 30，pp135-164，2001。
- [18] 吳思賢，航空貨運承攬業併裝決策之研究，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，2003。
- [19] 許文娟，Kasilingam 航空貨運收益管理模式之研究，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，1998。
- [20] 許巧鶯、王志青，「軸福航空貨運網路之直接與轉運路線選擇」，*運輸計劃季刊*，卷 26，pp95-118，1997。
- [21] 陳雅妮，航空公司航班課位需求與訂位艙等規劃，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，2001。
- [22] 陳昭宏、張有恆，「航空公司動態營收管理策略模式之研究」，*運輸計劃季刊*，卷 28，pp593-607，1999。
- [23] 張有恆、蘇建榮、陳昭宏，「航空公司超額訂位模式之研究」，*運輸計劃季刊*，卷 27，pp245-278，1998。
- [24] 顏上堯、陳茂南，「航空公司網路機位庫存管理—混合共用容量控制策略」，*運輸計劃季刊*，卷 29，pp53-78，2000。

網站資料

- [25] Boeing, World Air Cargo Forecast 2002-2003, <http://www.boeing.com/commercial/cargo>
- [26] 中國互聯網新聞中心，<http://202.130.245.40/chinese/2002/Nov/227769.htm>，92/9/9。
- [27] 交通部統計處資料，<http://www.motc.gov.tw/service/month-c/mcmain.htm>，93/2/11。