

國立交通大學

管理學院（運輸物流學程）碩士班

碩士論文

考量網路效應的航空貨運訂艙控管決策



Air Cargo Booking Management

Considering the Network Effect

研究生：陳信元

指導教授：黃寬丞 老師

中華民國一〇〇年七月

考量網路效應的航空貨運訂艙控管決策

Air Cargo Booking Management Considering the Network Effect

研究生：陳信元

Student: Hsin-Yuan Chen

指導教授：黃寬丞 老師

Advisor: Dr. Kuan-Cheng Huang

國立交通大學

管理學院（運輸物流學程）碩士班

碩士論文



Submitted to Degree Program of Transportation and Logistics

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Transportation and Logistics

July 2011

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇〇年七月

考量網路效應的航空貨運訂艙控管決策

研究生：陳信元

指導教授：黃寬丞老師

國立交通大學管理學院（運輸物流學程）碩士班

中文摘要

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，目前航空貨運業運量成長幅度已超越航空客運業，且預估未來仍將會是穩定成長。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，本研究希望將目前已廣泛應用於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與日常作業上，將航空公司有限的貨運艙位有效的規劃與管控，以期提升航空公司貨運收益。

隨著現今航空網路多朝著軸輻式型態發展，單一航段的營收管理模式，已無法符合實務作業面的需求，考量網路效應的多航段營收管理研究也相對的日益重要。因此本研究以考量網路效應的多航段航空貨運之靜態數學營收管理模式，將貨物之重量與材積兩項維度同時考慮，並運用實務數據與經驗，以靜態和動態的模式分別進行數值測試與效益驗證。

由靜態的數值測試可以得出接受訂位的最低運價，可以作為航空公司貨運艙位控管人員決策依據，而動態的效益驗證也發現可以提升約 6~15%的營收，確定此一以靜態數學規劃之營收管理模式可用於航空貨運訂艙控管決策，提供航空公司改善目前以人工判斷與經驗法則為依據的貨運艙位控管策略，並達到航空公司提升貨載與貨運營收的目標。

關鍵字：航空貨運、營收管理、訂艙控管、靜態規劃

Air Cargo Booking Management Considering the Network Effect

Student : Hsin-Yuan Chen

Advisor : Dr. Kuan-Cheng Huang

Degree Program of Transportation and Logistics

College of 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. The growth rate of air cargo has surpassed that of air passengers, and recent forecasts are projecting for this to continue in the future. Since American Airlines' successful implementation, revenue management (RM) has become a common practice for air passenger business. However, the application of RM to the air cargo industry is still at an early stage. Therefore, this study is aiming to apply RM to the management and daily operations of air cargo industry, for the airlines to fully utilize the limited cargo space and increase cargo revenue.

With current hub-and-spoke operation of airlines, the focus of the RM research has shifted from the traditional single-leg version to multi-sector one considering the network effect. Based on former studies, this study develops a static programming model considering network effect and takes the two key dimensions of air cargo, weight and volume, into account. Moreover, this study verifies the model by performing the numerical test for both static and dynamic model validation, and evaluates the benefits based on the actual operational date.

The result in the static numerical experiment, the minimum booking acceptance rate, is a good decision support for airline cargo space controller to manage the valuable resource. Besides, it is found that RM shows an average of 6~15% revenue improvement compared with current human judgment in dynamic numerical experiment. It is believed that this study should serve as a good solution for airlines to well-manage the cargo booking and space control, and then to improving cargo loading and increase cargo revenue.

Key Words: Air Cargo, Revenue Management, Booking Management, Static Programming

誌 謝

本論文得以付梓，首先要感謝黃寬丞老師的悉心指導，自題目發想時即能考量學生的特性，從解決實務困難與疑惑著手確立題目，在文獻理解的過程與研究方法的傳授，總能用淺顯易懂的方式讓我能迅速且深入瞭解，帶領我找到研究的樂趣與熱情，也得以順利的完成論文，而黃老師對於指導學生們所投注的心血與精神已深植心中，成為我今後努力學習的模範與目標。

其次要感謝兩位口試委員溫裕弘教授與湯慶輝教授在百忙之中撥冗細審且給予寶貴建議，並提醒許多疏漏和不足的地方，讓論文能更臻完善；更要感謝所上老師們在論文計劃和研討過程中，給予的指正和導引，能逐漸的修正與確立研究的方向與架構，不會迷失方向，而所辦何姐親切的叮囑與無私的支援，是論文得以準時送出的重要推手。

接下來要感謝的是同甘共苦的同窗好友和眷屬團，離開學校近十二年，二年前重回校園，是希望將自己工作中所累積的實務經驗，再加些理論基礎，讓在職場已被壓榨多年的腦力，能有新的知識輸入。在職專班同學們晨耕暮讀，體力與腦力上已是一大挑戰，而職場與生活中難免會遭遇的沮喪與無力，則是對意志力的嚴重考驗，但每每於遭遇挫折心生退意時，你們溫馨的鼓勵和溫暖的雙手，總會適時的出現身旁，拉起我、喘口氣、再出發，學業結束離開校園心中滿是不捨，但慶幸的是這次離開校園時，行囊裡不只裝著從老師們身上挖來的寶藏，還有你們這群一輩子的友好。

要感謝的人實在太多了，感謝每位曾經幫助過我的貴人，因為有你們才能有今天的我，在此，衷心的謝謝你們。最後，要感謝的是讓我一路走來從無後顧之憂的雙親和家人，若我能有任何一絲成就，你們是推動我努力向前的動力，即便是沒有任何成就，我也會竭盡所能來榮耀你們，給你們幸福，謝謝你們。

僅將誌謝獻給每一個曾經在我的人生路上給我鼓勵的你們。

陳 信 元 謹誌
國立交通大學管理學院
(運輸物流學程) 碩士班

中華民國 100 年 7 月

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
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
1.3 研究方法與架構.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 營收管理之特性.....	6
2.2 航空客運之營收管理.....	7
2.3 航空貨運之營收管理.....	10
2.4 航空網路營收管理之機位控管決策.....	12
第三章 模式構建.....	15
第四章 數值驗證.....	18
4.1 靜態數值測試.....	18
4.1.1 航班可用艙位毛重大於體積重.....	20
4.1.2 航班可用艙位體積重大於毛重.....	20
4.2 動態數值測試.....	21
4.2.1 小型範例之模擬驗證.....	23
4.2.2 實務範例之模擬收益驗證.....	24
第五章 結論與建議.....	27
5.1 結論.....	27
5.2 建議.....	28
參考文獻.....	29
附錄一 EXCEL 動態數值驗證.....	31
附錄二 實務作業訂艙需求(N=51)與 RM 決策和人工判斷結果.....	34
附錄三 實務作業訂艙需求(N=71)與 RM 決策和人工判斷結果.....	35

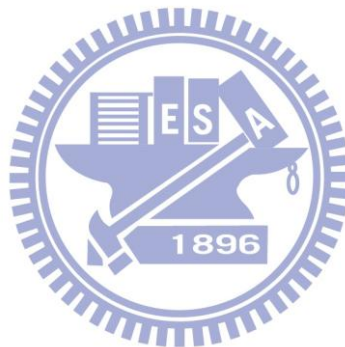
表目錄

表 1 航空業客、貨運營運量指數 (交通部統計處, 2011).....	2
表 2 多航段各 OD 組合市場需求、運價和貨物比重數據.....	19
表 3 多航段航班可用艙位資料 (I=1,3 毛重大於體積重).....	20
表 4 航班毛重大於體積重靜態模式求出之最低運價.....	20
表 5 多航段航班可用艙位資料 (I=1,3 體積重大於毛重).....	20
表 6 航班體積重大於毛重靜態模式求出之最低運價.....	21
表 7 多航段航班可用艙位資料.....	23
表 8 小型範例模擬之訂艙需求與 RM 決策結果.....	23
表 9 實務作業訂艙需求(N=32)與 RM 決策和人工判斷結果.....	24
表 10 範例一(N=32)實務範例模擬收益比較表.....	25
表 11 範例二(N=51)實務範例模擬收益比較表.....	25
表 12 範例三(N=71)實務範例模擬收益比較表.....	26



圖目錄

圖 1	世界航空貨運成長趨勢 (BOEING, 2010).....	1
圖 2	航空貨物進、出口流程.....	3
圖 3	研究流程圖.....	5
圖 4	巢式機位配置方式 (石豐宇、郭維杰, 1999).....	7
圖 5	KASILINGAM 營收管理模式 (KASILINGAM, 1996)	10
圖 6	營收管理之網路型態示意圖 (TALLURI & VAN RYZIN, 2004)	12
圖 7	兩航段網路動態規劃模式 (張雯瑋, 2005).....	13
圖 8	多航段網路模式.....	18



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

航空貨運業近幾年來雖因國際油價飆漲，導致成長略為趨緩，又因 2008 年第四季全球金融風暴之後，消費者購買需求明顯減少，造成製造業生產量銳減，使得整體航空貨運運量呈現顯著的下滑，雖然受到如此衝擊但整體運量於過去 10 年 (1999-2009 年) 間仍呈現出約 2% 的成長；且隨著全球經濟情況逐漸改善，全球貨運運量自 2010 年初起已開始回溫，若以過去數十年整體來看，航空貨運業之發展仍屬非常迅速。

根據世界航太製造業波音公司所發表的「世界航空貨運預測」 (World Air Cargo Forecast 2010-2011) [Boeing, 2010]，中提及雖然航空業近年來受到高油價的衝擊，但仍舊看好未來航空貨運的發展，且估計自 2009 年到 2029 年二十年間，世界航空貨運每年平均將會以 5.9% 的比率成長，運量從 2009 年的每年 1,668 億延噸公里 (Revenue Tonne-Kilometer, RTK)，成長到 2029 年每年 5,665 億延噸公里，也就是成長幅度將超過三倍 (如圖 1)。

其中以亞太地區成長幅度將最為突出，尤其以中國內陸航線航空貨運預計每年平均的成長率達 9.2% 為最高，其次則是亞太區域內貨運運量成長率 7.9%；而以往較成熟的北美與歐洲市場，除了與中東地區連接的航線外，所有航線預估成長率皆低於平均值 5.9%，而又以北美內陸航線 3.0% 和歐洲內陸航線 3.6% 為最低。

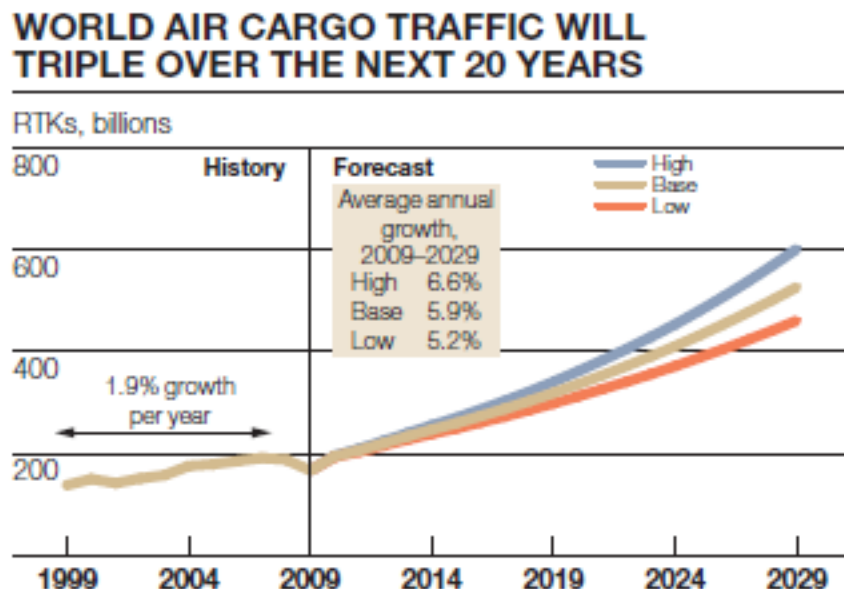


圖 1 世界航空貨運成長趨勢 (Boeing, 2010)

以我國而言，航空貨運業近十年來(2001~2010)的發展一直呈現穩定上揚的情形，依據交通部統計處資料 [交通部統計處，2010] (如表1)可知，近十年來航空貨運的成長幅度已超越航空客運之成長狀況；航空客運業於2003年經歷美國911事件與全球SARS風暴，造成當年營運受到重大打擊，但隨即在隔年起已止跌回升，又於2008-2009年受到全球金融風暴影響，出現運量下滑的情形，但也已自2010年起逐步回升。反觀航空貨運業，由於國際貿易自由化與全球供應鏈觀念逐漸普及，使得國內對於航空貨運的需求與日俱增，自2005年起雖然因為國際油價攀升與2008年金融風暴的影響，造成年成長率較為趨緩，但整體而言還是呈現出持續成長的情形，且近年來在政府積極推動貨運轉運中心計畫以及兩岸直航的影響下，國內航空貨運業者也紛紛拓展新航線與新業務，以尋找其在貨運市場定位的新利基。

表 1 航空業客、貨運營運量指數 (交通部統計處，2011)

年別	航空客運 (延人公里)	航空貨運 (延噸公里)
2001	100	100
2002	106	119
2003	97	130
2004	120	154
2005	129	156
2006	134	157
2007	136	152
2008	127	130
2009	124	117
2010	131	162

單位：% (以 2001 年為基期，國際航線為主)

有關航空貨運進、出口的流程，可概略整理如下圖 (圖 2)，由此可以清楚知道，國際航空貨運運送過程中包含了許多不同行業的參與者，所涉及的管理決策多樣且繁雜，在整個過程中貨主和航空公司通常是不會直接聯繫的，而是由航空貨運承攬業扮演中介角色，除了需先根據貨主預估的貨品件數、重量和材積數向航空公司預定艙位外，也會將所承攬之多位貨主的貨物進行貨物併裝，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，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客戶，也是市場需求的來源。

航空公司運用營收管理技術可以有效控管客運機位的效益；以美國航空公司為例，自 60 年代起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。根據該公司的分析顯示，如果沒有使用這套控管系統，大約每架班機將有 15% 的高票價座位會保留到起飛時仍賣不掉，而使用系統後這類損失可減少至每班機只有 3% 的座位會發生且估計從 1988 到 1990 年這三年的淨收益

約增加 14 億美元，即平均每年約有 5 億美元的收入，也因而使得各航空公司逐漸重視收益管理。[Smith *et al.*, 1992]

雖然營收管理已經廣泛使用於航空公司客運業務的經營管理上，但航空貨運接受承攬業者訂艙多以過往合作經驗為主，並不一定有一套可量化或具理論基礎的控管機制，而現今航空網路多朝著軸輻式(hub-and-spoke)型態發展，且隨著航點的增加各個單一航段或是單一航點占總營收的比重已逐漸降低，以目前國籍航空公司為例，目前約有70~80%轉口貨源，因此本研究的重點即是應用營收管理(Revenue Management, RM)在航空公司與承攬業間的訂艙控管決策上並考量多航段的網路型態，希望將有限的艙位妥善使用，提升航空公司的總收益。

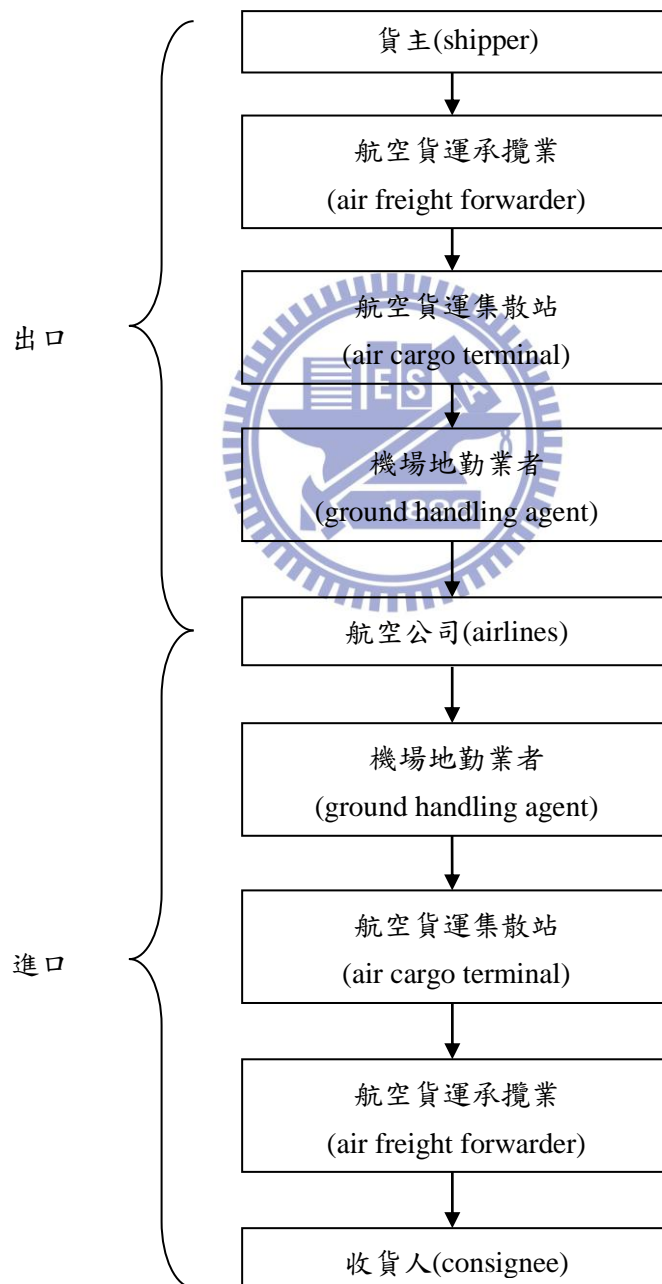


圖 2 航空貨物進、出口流程

1.2 研究範圍與目的

航空運輸(包含貨運和客運)具有高單價、高時效性等特性，在經營和管理上必須非常有彈性，對於服務品質的要求也相當高，且因為燃油成本佔其總成本的比重隨著油價提升而逐漸增加，因此對於成本的控制也必須格外嚴格。目前將收益管理運用於艙等和機位的分配已普遍使用於航空客運業界，且已獲得良好的成效與實質的營收增加；雖航空貨運與客運在經營管理與日常操作上存在著部份差異，但應並非無法將客運成功的營收管理概念應用於貨運營收管理上。

本研究期望以航空客運營收管理(Passenger Revenue Management, PRM)為基礎，考慮航空客、貨運中不同的運輸特性與背景，發展一套可應用於航空貨運的營收管理(Cargo Revenue Management, CRM)模式，以用於訂艙決策管理，期望能輔助或改善目前僅使用經驗法則的人工判斷決策，更冀望能進一步有效率地使用航機上有限的艙位，以達到增加航空公司貨運營收的目標。

所界定的研究範圍為將單一航段延伸到考量網路效應後航空貨運之營收管理問題，以解決航空貨運訂艙管理問題。

本研究整理出研究目的如下：

- (一) 瞭解目前航空客運業機位和貨運艙位配置問題與特性。
- (二) 以目前現有航空客、貨運業機位存貨與訂艙管理之相關文獻為基礎，發展適當之數學模型，解決貨運艙位訂艙管理問題，並建構航空貨運的訂艙控管決策機制。
- (三) 提出具體的結論與建議，以增進航空貨運業進行營收管理之效率。

1.3 研究方法與架構

本研究主要以目前航空客運業發展的營收管理模式為基礎，發展有效的航空貨運訂艙與營收管理問題之求解方法。首先，蒐集目前航空客、貨運業營收管理的相關研究，瞭解目前營收管理的問題特性；其次，根據上述資訊歸納出客、貨運間不同的特性和考量網路型態的營收管理特性；最後，再針對航空貨運的訂艙控管決策特性和方法進行調整，提出可行之數學模式，並利用程式模擬方式驗證之。

- (一) 界定研究範圍與目的：對象以「航空貨運」問題為主，但是由於目前航空客運的營收管理發展較為成熟，因此先由航空客運之發展理論著手，發展一套可應用於航空貨運訂艙控管決策之研究。
- (二) 文獻回顧：探討目前航空客、貨運營收管理問題之研究發展，對於各種航空營收管理相關主題加以回顧，以進一步瞭解航空客、貨運營收管理間的差異與關聯性。
- (三) 模式構建與求解：本研究欲改良現有航空貨運營收管理模式，發展一套

方法以求解決航空貨運之艙位控管決策，改善目前使用人工判斷的決策過程。

- (四) 驗證與微調：利用模式所計算之結果，進行實務數值測試以證明模式之正確性，並藉此修正、調整模式，以期更符合實際操作現況，且證明模式之適用性。
- (五) 結論與建議：歸納與分析整理研究結果，比較目前訂艙管理決策之研究和實際決策過程，研擬具體可行的結論與建議，更期望能引出後續可行之研究方向。

本研究之研究流程如下(圖 3)：

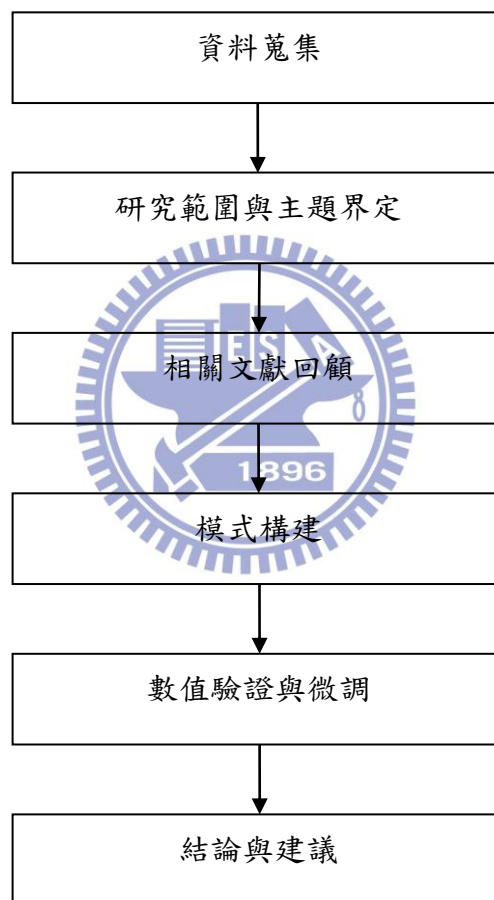


圖 3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 營收管理之特性

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營收管理 (Perishable-Asset Revenue Management, PARM)的一部分，根據 [Weatherford & Bodily, 1992]的研究顯示，時效性資產具有以下三種特性：

1. 不可儲存性：所謂的時效性資產又稱時效性商品 (perishable product)，其具有一定的生命週期，在此週期過後商品將不再具有價值或已耗損掉大部分的價值。因此，一旦過了其時效，這些仍被保存的服務或商品將無法繼續創造利潤，而且這些商品的需求通常具有不確定性，因此各種營收管理的相關研究便應運而生。
2. 固定的資源 (容量有限)：對於時效性商品的數量限制，有時來自於提供服務的容量限制，如：旅館房間數或航班機位數，有時則是因商品具有生命週期，廠商自然在提供此商品時會限制商品數，以避免滯銷的情形發生，因為數量有限且又具有時效限制，所以時效性商品的價格一般都會在一大範圍內做調整，以達到最有效的利用，而使收益最大。
3. 具有區隔市場的可能性：以航空客運業的營收管理為例，其市場區隔主要是經由一些特殊的條件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，可能在班機起飛前無法售完，將會造成損壞損失 (spoilage loss)，但如果規劃太多低價的機位，則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)。

[Littlewood, 1972]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，則應該就折扣的票價售出，此即是營收管理的起源。直到後來美國解除航空管制後，營收管理的概念才開始深入發展，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。

航空客、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，商品是機位；而航空貨運運送的是貨物，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，基於兩種商品的相似性，以及兩種需求均具有不確定性，就航空公司經營的角度而言，目前已廣泛應用在航空客運的營收管理技術，應該可以運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。

2.2 航空客運之營收管理

航空公司進行營收管理，一般先透過預測可用容量與需求以做出市場區隔，並訂出最佳的價格，以使承載量、總收益與邊際收益達到最佳化。營收管理在航空客運的應用上大致可分為以下三步驟：

1. 依據需求的特性與價格的敏感度，將飛機客艙提供的服務艙等(cabin class)，如經濟艙、商務艙...等，進行市場區隔，訂定不同的票價，稱為費率艙等(fare class)。
2. 針對同一班機客艙不同的費率艙等，制定不同的購票限制條件，這些限制條件則必須要能將高價位與低價位的機票市場明顯區隔，使這些相同的機位區分為不同的市場定位，成為不同的商品。
3. 考慮到各艙等的需求分布，參考歷史訂位資料來決定其訂位上限、定價或超賣比例等，因而制定各艙等可接受訂位的限制，控管各艙等的機位的銷售量，使總收益最大。

有關機位的配置方式，目前航空公司普遍以使用巢式配置為主，巢式的機位配置係將各艙等依照其費率高低的的不同，設置不同的「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 $i=k$ 則為票價最低者)。其特色是各艙等預留機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($B_k=L_k$)(如圖 4)，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。

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

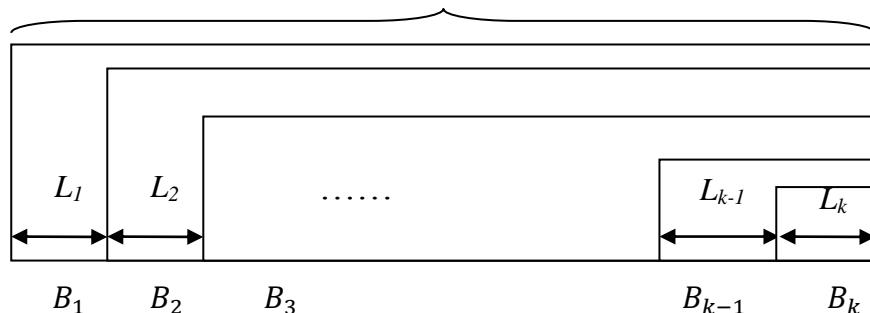


圖 4 巢式機位配置方式 (石豐宇、郭維杰，1999)

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 [McGill & van Ryzin, 1999]：

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會早於高費率。
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，不考慮多航段和網路型態。
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，休閒旅次的訂位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。然而，由於現在千變萬化的票價與購票規則，事實上各種旅次需求的產生，卻也並非如上述第 1、2、3 個假設般單純，而且就第 4 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營收管理間有著密切的關係，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，為利於營收管理的模式求解，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]提出了一個數學規劃的模型，並提出啟發式解法稱 EMSR (Expected Marginal Seat Revenue)。該模式主要是考量機位之邊際收益將隨著保留機位數的增加而下降，因此在評估各艙等的預留機位數時，是以各費率艙等預留機位數的邊際收益期望值為基礎，當最高費率艙等的邊際機位收益期望值小於次高費率艙等費率時，即表示應該開始賣次高艙等的機位，此時的機位數則為最高費率艙等的最低預留位數。以此觀點類推，可以得到各高低艙等間的相對預留位數，並進而得到各艙等的最低預留位數。

之後學者 [Curry, 1990]、[Wollmer, 1992]、[Brumelle & McGill, 1993]改善 Belobaba 的模式，以找出全域最佳解 (global optimal)，上述皆屬於靜態的機位存貨管理模式，並未深入探討機位管理中需求產生與時間的關係。

國內有關航空客運營收管理的研究，有多位學者延續前述模式，鬆弛六大基本假設，例如考慮網路架構或包含取消訂位機率等特性，其中[陳昭宏、張有恆，1999]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，以避免以往的模式中，僅考慮補滿訂位未報到人數，且未納入超賣成本考慮之缺點；[顏上堯、陳茂南，2000]則探討在低票價費率可較高票價旅客先

出現要求訂位，但會有部分需求重疊的情況，其中包含多重票種與多重起訖點，並運用邊際座位收益法及數學規劃方法求解；[汪進財、蔡言宏，2001]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。

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，[Lee & Hersh, 1993]針對假設 1，認為現實情況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會有所重疊，因此，需將整個對於機位的需求視為隨機序程 (stochastic process)，且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。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，建立一動態規劃(Dynamic Programming, DP)的數學模式。

Lee & Hersh 的另一個貢獻是針對假設 6，「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」的需求，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任一時段對於不同艙等的不同訂位數的需求機率，並假設各艙等每次訂位的上限，在考慮多席訂位時，所比較的決策改為此多席訂位所帶來的收益與保留這些機位到下段時期的可能期望收益。

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]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，該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、郭維杰，1999]以 Lee & Hersh 之直飛航班動態多席訂艙模式為根據，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，其並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]以個別旅客的機位需求、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。

在 1999 年，[Subramanian et al, 1999]延續 Lee & Hersh 的模式，更進一步放鬆假設 4，考慮取消(cancellation)與未出現(no-shows)的情形，建立一動態規劃的數學模式，將取消訂位的情形加入考量，每個時段皆有一取消訂位之機率，其機率與該時段已經賣出機位數相關，各艙等需求產生機率與取消一個訂艙機率與沒有需求產生機率之總和需等於 1，且在飛機起飛時段會依據已賣出機位，產生一訂艙未出現之二項式分佈，因此考慮超額訂艙，設立超賣之賠償函數，而其接受訂艙與否，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。

而上述關於營收管理之研究，只是相關文獻的一小部分，若想更深入的瞭解營收管理應用之領域，與如何應用，可以參考[McGill & van Ryzin, 1999]所提出之營收管理研究報告，或是[Talluri & van Ryzin, 2004]的營收管理之理論與實務一書。

2.3 航空貨運之營收管理

關於航空貨運的收益管理討論，[Kasilingam, 1996]以航空公司使用客、貨兩用機為例，提出如圖 5 之航空貨運收益管理模式，並指出貨運由於具有其特殊的存貨方式、交易與訂艙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。

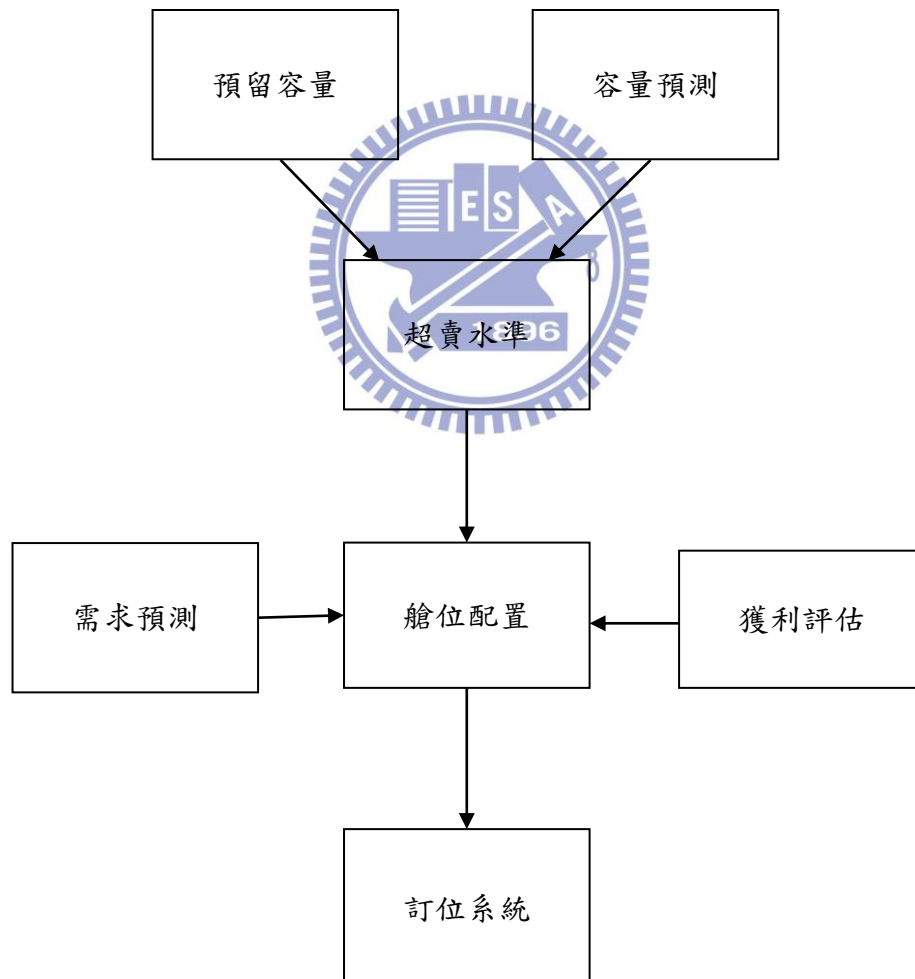


圖 5 Kasilingam 營收管理模式 (Kasilingam, 1996)

另根據[Moussawi and Cakanyildirim, 2005]、[張格禎, 2007] 和[Luo et al., 2009] 等研究，彙整出客運、貨運營收管理差異如下：

1. 就供給面而言，客運座位供給數十分明確，但貨機艙位供給量卻受以下幾點的影響：
 - a. 貨物在裝載時，會因為貨物之幾何形狀(如紙箱貨或棧板貨)等情況，使得盤櫃完成裝載後的實際的容量並不確定。
 - b. 各航班的飛行計劃書通常在接近起飛時才會由航管單位許可放行，因此其飛行航線、高度、航路上的氣候、風速、風向等因素和跑道的溫、溼度等，都無法提前正確預測，這些因素都會影響航機必須攜帶之油料，進而影響班機酬載。
 - c. 當使用客機的機腹 (belly cargo)載貨時，由於是以乘客的行李優先承載，然而乘客的行李要到旅客完成報到才明確知道數量與重量，因此也要到班機起飛前才能確定貨運酬載，更增加的供給上的不確定。
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，可以分出不同的服務艙等，針對不同顧客給予不同的服務或附加不同的限制條件，但是航空公司在貨運艙位上並無法做到明確的劃分。
 - b. 客運機位以席計算，每次訂位需求可分為單席或多席訂位，但是貨運艙位訂艙時以重量與材積計算，一般每次訂艙有最低容量限制，因此原則上每次訂艙應視為多席訂艙。
 - c. 飛機可裝載量受到重量與體積之雙重限制，而在訂艙需求產生時，通常無法確切的知道貨物實際之材積與重量大小，直到貨物進倉時，才會知道實際大小，因而造成需求不確定性。

過去與航空貨運營收管理有關的研究，大多是著眼於超額訂艙處理或控制，對於動態的航空貨運艙位管理並不多。而關於航空貨運艙位控管之研究，[許文秀, 2004]、[Huang and Hsu, 2005]提出一考慮供給不確定性之航空貨運艙位的動態規劃模式，使航空公司在面臨需求與供給雙方面之不確定性時，仍能經由有效地進行艙位控管配置，達成總收益最大化之目標。

然而上述研究只考量貨物計費重量之單一維度，因此只適用在無法獲得較多貨物資訊之情形下，現今航空公司在貨運的艙位管理多會考量貨物材積與重量兩項維度，[Amaruchkul *et all*, 2006]所提出之模式，是將貨物之重量與材積兩項維度皆考慮，材積與重量依照一特定分佈隨機產生，發展一利用隨機序程求解單一航段航空貨運之動態數學規劃營收管理模式。

[張格禎, 2007]、[Huang and Chang, 2010]則是應用隨機序程之動態數學規劃模式，建構一考慮貨物材積與重量隨機性之數學模式，並發展 Joint Approximate

Heuristics(JAH)近似法來求解期望收益函數。

但上述研究均是基於動態規劃模式的限制，無法處理高維度的問題，而以單一航段為主，本研究則以目前航空業界常用的軸輻式多航段航空網路型態為研究對象，但是本研究係採反覆應用靜態模式來處理動態訂艙問題，不似前述研究本身即為動態模式。

2.4 航空網路營收管理之機位控管決策

網路型態的營收管理相較於單一資源的問題複雜得多，必須考慮商品(product)及資源(resource)間多重組合的特性，如圖6中，無論是(i)旅館業停留天數的應用或是(ii)航空業中軸輻式網路型態的航線，由於商品間資源共享，售出的商品會影響多項需要相同資源的商品未來的銷售(通常商品種類遠大於資源種類)，因此該如何有效控管有限資源與取捨多項商品的銷售，來極大化收益是一重要的管理議題，而航空網路之營收管理問題更是其中典型的範例[梁宇彤，2007]。

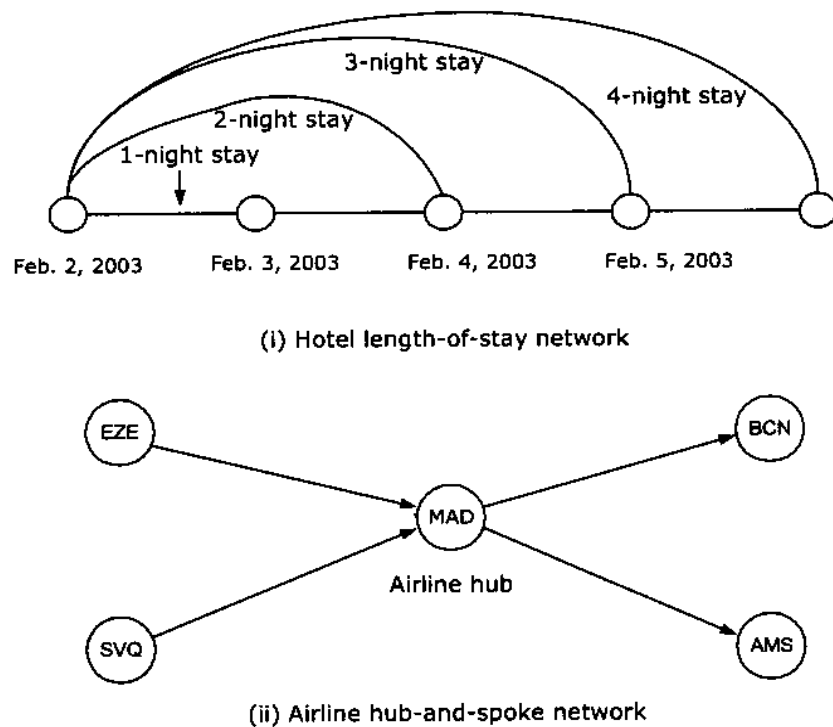


圖6 營收管理之網路型態示意圖 (Talluri & van Ryzin, 2004)

在航空業中，網路型態之營收管理問題中，資源即是各航段之機位，而商品則是各旅次起迄點(Origin-Destination, OD)及各種費率之組合，一個航段可被多個OD使用，且一OD也可能包含多項航段，以下以ODF(Origin-Destination and Fare class)代表商品之種類，航空網路營收管理中之機位控管可用數學規劃模式來處理，而其目標一般是最大化總期望收益。例如，將Lee & Hersh的單一航段動態規劃模

式延伸至網路型態中，圖 6(ii)是以多航段網路型態為例之示意圖，利用式(1)，則可得出—網路航空營收管理問題的最佳解。

$$V_t(\mathbf{x}) = P_0^t V_{t-1}(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^J P_j^t \max(V_{t-1}(\mathbf{x} - \mathbf{A}_j) + r_j, V_{t-1}(\mathbf{x})) \quad (1)$$

符號說明：

- i : 顯示航段別, $i=1, \dots, I$ 。
- j : 顯示 ODF 別, $j=1, \dots, J$ 。
- A : 為 $I \times J$ 的關聯矩陣(incidence matrix), 表示航段與 ODF 間之關係。若 $a_{ij}=1$, 則表示 ODF j 使用航段 i ; 否則為 0。
- A_j : 為 A 之第 j 個 column vector, 表示 ODF j 使用之航段。
- r_j : 代表 ODF j 之票價。 \mathbf{r} 則為一向量, 表示各 ODF 之票價。
- x_i : 代表航段 i 之剩餘機位數。 \mathbf{x} 為一向量, 表示各航段之剩餘機位數。
- t : 顯示時段別, $t=1, \dots, T$ 。
- $V_t(\mathbf{x})$: 在 t 時段尚有 \mathbf{x} 機位之期望收益。
- P_j^t : 在時段 t 中, ODF j 的訂位機率。

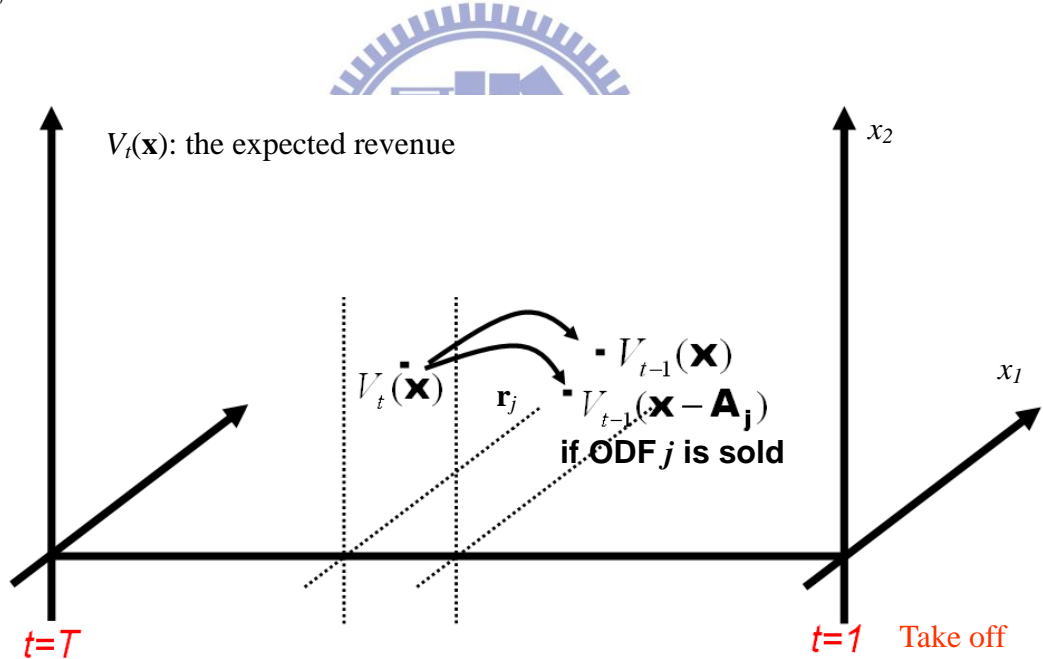


圖 7 兩航段網路動態規劃模式 (張雯瑋, 2005)

利用單一航段問題類似之觀念，同樣地可將邊際效益的概念延伸至航空網路營收管理中，如式(1)中 $\max(V_{t-1}(\mathbf{x} - \mathbf{A}_j) + r_j, V_{t-1}(\mathbf{x}))$ ，移項後之 $V_{t-1}(\mathbf{x}) - V_{t-1}(\mathbf{x} - \mathbf{A}_j)$ 即類似機位 \mathbf{A}_j 之邊際效益，而將其與票價 r_j 做比較，若票價較高，如式(2)，則接受訂位，若較低則拒絕。

$$r_j \geq V_{t-1}(\mathbf{x}) - V_{t-1}(\mathbf{x} - \mathbf{A}_j) \quad (2)$$

然而，在實際運算上，上述決定控管決策的方式卻有相當的限制，在網路規

模較大的情況下，例如有 I 個航段的情況時，加上時間，狀態變數 (state variable) 會變成 $I+1$ 個維度，如此過程的運算中需要可觀的記憶空間，而依據式(1)更新狀態變數時運算也難以負荷，由於這樣的限制，雖然理論上可求出最佳解，上述動態規劃模式無法解決規模太大的問題。

因此，後續許多研究紛紛由此延伸，想找出一合理之演算法以解決符合實際狀況的大型航空網路問題，以下的確定性線性規劃(Linear Program, LP)模式，是一個常用的模式，即是以最大收益為目標函數式(3)，決策變數為分配予各 ODF 之機位數，限制式(4)為供給限制，各 ODF 完成分配後各航段所使用之機位數必須在容量限制下；式(5)則是需求限制，各 ODF 所分配之機位數必須小於需求。

$$V(x) = \max \sum_j r_j y_j \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \sum_j a_{ij} y_j \leq x_i, \forall i \quad (4)$$

$$y_j \leq u_j, \forall j \quad (5)$$

符號說明：

- y_j : 此為決策變數，代表分配給予 ODF j 之機位數。
- $V(x)$: 在 t 時段尚有 x 機位之期望收益。
- r_j : 代表 ODF j 運價。
- x_i : 航班可用機位數。
- u_j : 代表 ODF j 之市場機位數需求。
- a_{ij} : 0-1 參數，1 代表 ODF j 包含航段 i ，0 代表沒有。

直接執行控管的方式，最初由[Williamson, 1992]提出競價法(Bid price control, BPC)，將每個航段 i 設定其競價值 $\mu_i(t, \mathbf{x})$ ，若 ODF j 之費率 r_j 大於航段加總之競價值，則予以賣出，如式(6)。

$$r_j \geq \sum_{i \in A_j} \mu_i(t, \mathbf{x}) \quad (6)$$

至於競價值要如何設定，Williamson 即是用上述數學規劃模式來估算，然而整個數學規劃之模式，重點不在於找出最佳解或目標值，而是針對供給限制式計算出各航段對應的對偶價格(dual price)，作為各航段的競標值。每個航段的對偶價格意謂此航段多增加一個機位之容量所帶來的邊際效益，這個數值愈高，代表該航段對營收的貢獻度愈高，相對地也應賦予其一個較高的競標值。

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營收管理方面的研究十分豐富，但關於航空貨運業營收管理的研究則相對較少，在討論機位的存貨控管模式時，可分為靜態與動態之數學規劃，也包含了單一航段和考量網路型態的多航段營收管理模式，然而隨著現今航空網路多朝著軸輻式型態發展，且隨著航點的增加各個單一航段占航空公司營收比重也已逐漸減少，因此單一航段的營收管理模式研究，已無法符合實務作業面的需求。

考慮到網路型態的多航段動態數學營收管理規劃模式，往往因為網路規模較大若再考量時間因素，運算過程會因為維度過大，需要較大的記憶空間甚至出現系統難以負荷的情形，基於這樣的限制，雖然理論上考量網路效應的動態規劃營收管理模式是可以求出最佳解，但是卻無法解決規模太大的問題，且若加入航空貨運中重量與體積二項重要維度，將造成問題規模更大且求解更為困難，也無法解決實務作業上的需要。

航空貨運的訂艙需求除了運價外，包含了重量與體積二種不同計算單位的重要因素，為了解決重量與體積不同計算單位在計價和比較上的困難，國際航空運輸協會(International Air Transport Association, IATA)制定了一套將體積單位換算為重量單位的算法，即以立方公分 (cm^3)除以 6,000，則成為重量單位公斤 (kg)一般稱為體積重(volume weight)，因此航空貨運的訂位需求會包含毛重(gross weight)和體積重兩項維度，然而在航空貨運的計費上是以毛重和體積重二者取大者為計費基準，即為計費重量(chargeable weight)。

訂艙控管決策的重點在於，有訂艙需求出現時，應如何決定是否要接受此一訂艙需求，過去的研究通常是依據一訂艙上限值或者是訂位時間點，做為接受或拒絕訂艙需求的判斷依據。但在本研究中則是希望將會造成維度過大的動態營收管理模式簡化為靜態營收管理模式，將不合時宜的單一航段延伸至考量網路型態的多航段模式，並可以同時考量毛重與體積重二個維度，因此參考式(3)~(5)發展出下列式(7)~(10)之考量網路型態的靜態航空貨運訂艙控管決策模式，以求能解決貨運訂艙控管決策問題。

符號說明：

模式參數

- i : 顯示航段別， $i=1, \dots, I$ 。
- j : 顯示起迄點組合(OD)別， $j=1, \dots, J$ 。
- w_i : 航班可用毛重。
- v_i : 航班可用體積重。
- D_j : 代表 OD j 之市場毛重需求。

- d_j : 貨物比重(density) 毛重/體積重。
- r_j : 代表以計費重計算之 OD j 運價。
- r'_j : 代表以毛重計算之 OD j 運價 $r'_j = r_j, d_j \geq 1$; $r'_j = \frac{r_j}{d_j}, d_j < 1$ 。
- a_{ij} : 0-1 參數, 1 代表 OD j 包含航段 i , 0 代表沒有。
- 決策變數
- b_j : 代表分配給 OD j 之毛重。

$$\text{Maximize } Z = \sum_j r'_j b_j \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_j a_{ij} b_j \leq w_i, \forall i \quad (8)$$

$$\sum_j a_{ij} \frac{b_j}{d_j} \leq v_i, \forall i \quad (9)$$

$$b_j \leq D_j, \forall j \quad (10)$$

雖然本章建構之模式即上列之式(7)~(10)是參考 Williamson 的競價法式(4)~(6)發展而來的, 但卻不是以競價法概念求解, 此靜態數學規劃模式之運用, 是計算當訂艙需求出現時, 目標式值(Z)在容量改變(賣出)前(Z_b)、後(Z_a)的差值, 來評估是否接受訂艙需求, 若訂艙需求的營收(Rev)較高或與差值相同則決定接受訂艙, 但若較低則拒絕此一訂艙需求, 即是當式(11)成立時為接受訂艙需求, 反之則拒絕訂艙需求。

$$Rev \geq Z_b - Z_a \quad (11)$$

在航空貨運訂艙控管上, 訂艙需求出現的時間也是一個影響決策的重要因素, 一般而言, 航班可用艙位和市場需求會因為接受貨物訂艙量的增加, 隨著航班起飛時間的接近而逐漸減少, 而因為不同時間的市場貨物訂艙需求不同, 所以貨物比重也會隨之改變, 另外航空公司營業人員則是會依據不同時間的班機艙位使用情形機動調整貨物運價以期達到最佳收益, 由此可知, 市場需求(D_j)、航班可用艙位(w_i, v_i)、貨物比重(d_j)和運價(r_j, r'_j)...等因素都是會受到時間影響的動態性因素, 所以可將(7)~(10)式改為下列考量時間(t)因素的式(12)~(15)。

考量到航空貨運之訂艙需求相較航空客運為少, 且實際的訂艙需求會是循序出現的, 因此可於每筆訂艙需求出現時, 計算目標的差值與訂艙需求的收入, 來決定是否接受訂艙需求, 如此, 於訂艙需求出現時以動態性的各訂艙需求資料, 反覆執行此一靜態營收管理模式, 即可達到動態性的決策效果。

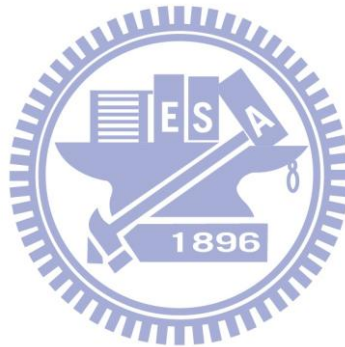
$$\text{Maximize } Z^{(t)} = \sum_j r_j^{(t)} b_j^{(t)} \quad (12)$$

$$\text{s. t. } \sum_j a_{ij} b_j^{(t)} \leq w_i^{(t)}, \forall i \quad (13)$$

$$\sum_j a_{ij} \frac{b_j^{(t)}}{d_j^{(t)}} \leq v_i^{(t)}, \forall i \quad (14)$$

$$b_j^{(t)} \leq D_j^{(t)}, \forall j \quad (15)$$

艙位供給面的班機可售艙位調整和為避免取消或未出現情形發生造成貨運艙位使用率不佳，進而影響貨運營收貨，實務作業上所實行的艙位超賣的情形，將可由調整航班可用艙位 w_i 和 v_i 來達成，另外，因為航空貨運業於艙位超賣時的賠償成本相較航空客運業發生機位超賣時明顯為低，因此本研究並未考慮到超額訂艙時的賠償問題。



第四章 數值驗證

為驗證本研究所提出之規劃模型可用於航空貨運訂艙決策上，本章將以下列多航段網路型態模式(圖 8)為例，加上國內某航空公司經調整過起、迄點組合的實務作業數據資料，使用 Intel Core i3 CPU 550@3.20 GHz 1.18h 和 1.18GHz, 1.86GB RAM 電腦，搭載 Microsoft Windows XP Professional version 2002，以 Microsoft Office Business & Home 2010 之 Microsoft Excel 規劃求解功能撰寫模擬程式(平均皆不到 1 秒即可求解，並無前述動態模式維度過大造成求解困難的情形)，分別驗證靜態和動態模式之可行性。

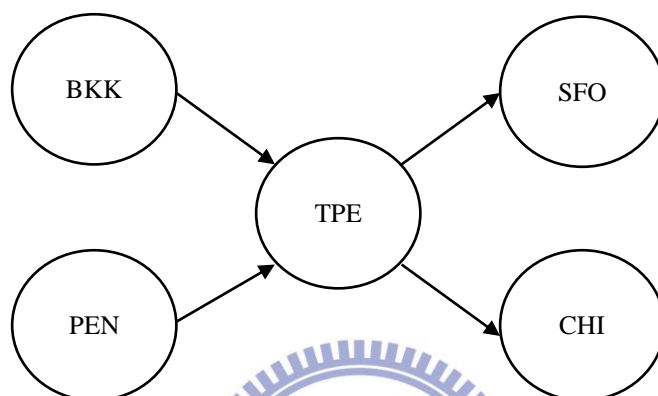


圖 8 多航段網路模式

4.1 靜態數值測試

上列圖 8 多航段網路型態模式，包含了 8 個 OD 組合($j=1\sim 8$ ，如表 2)與 4 個航段($i=1\sim 4$ ，如表 3)，如此則可將式(7)~(10)展開為下列各式：

$$Z = r'_1 b_1 + r'_2 b_2 + r'_3 b_3 + r'_4 b_4 + r'_5 b_5 + r'_6 b_6 + r'_7 b_7 + r'_8 b_8 \quad (16)$$

$$b_1 + b_2 + b_3 \leq w_1 \quad (17)$$

$$b_4 + b_5 + b_6 \leq w_2 \quad (18)$$

$$b_2 + b_5 + b_7 \leq w_3 \quad (19)$$

$$b_3 + b_6 + b_8 \leq w_4 \quad (20)$$

$$\frac{b_1}{d_1} + \frac{b_2}{d_2} + \frac{b_3}{d_3} \leq v_1 \quad (21)$$

$$\frac{b_4}{d_4} + \frac{b_5}{d_5} + \frac{b_6}{d_6} \leq v_2 \quad (22)$$

$$\frac{b_2}{d_2} + \frac{b_5}{d_5} + \frac{b_7}{d_7} \leq v_3 \quad (23)$$

$$\frac{b_3}{d_3} + \frac{b_6}{d_6} + \frac{b_8}{d_8} \leq v_4 \quad (24)$$

$$b_1 \leq D_1 \quad (25)$$

$$b_2 \leq D_2 \quad (26)$$

$$b_3 \leq D_3 \quad (27)$$

$$b_4 \leq D_4 \quad (28)$$

$$b_5 \leq D_5 \quad (29)$$

$$b_6 \leq D_6 \quad (30)$$

$$b_7 \leq D_7 \quad (31)$$

$$b_8 \leq D_8 \quad (32)$$

本節將以下列表 2 中 8 個 OD 組合的市場需求、運價和貨物比重的實務數據，探討航班可用艙位於二種不同的情況時(毛重大於體積重與體積重大於毛重)，接受 9 筆不同貨物比重的訂艙需求時的最低運價值和實務作業數值的關係。

表 2 多航段各 OD 組合市場需求、運價和貨物比重數據

$j=1\sim 8$	D_j (kg)	r_j (TWD)	d_j
1. BKK-TPE	4,000	27	1.0
2. BKK-TPE-SFO	7,000	126	0.9
3. BKK-TPE-CHI	8,000	124	1.1
4. PEN-TPE	5,000	26	1.2
5. PEN-TPE-SFO	5,000	130	1.3
6. PEN-TPE-CHI	4,000	127	0.8
7. TPE-SFO	4,000	128	0.7
8. TPE-CHI	4,000	125	1.1

以下 4.1.1 和 4.1.2 都以當 OD 組合為 BKK-TPE-SFO($j=2$) (包含航段 BKK-TPE 和 TPE-SFO)有訂艙需求毛重 W_b 和體積重 V_b 出現時為特定例子，不接受訂艙需求之目標式最大值為 Z_b 以式(16)~(32)計算，而接受訂艙後之目標式最大為 Z_a ，因接受訂艙後航段可用艙位須減去此訂艙需求，因此將式(17), (19), (21)和(23)改為：

$$b_1 + b_2 + b_3 \leq w_1 - W_b \quad (33)$$

$$b_2 + b_5 + b_7 \leq w_3 - W_b \quad (34)$$

$$\frac{b_1}{d_1} + \frac{b_2}{d_2} + \frac{b_3}{d_3} \leq v_1 - V_b \quad (35)$$

$$\frac{b_2}{d_2} + \frac{b_5}{d_5} + \frac{b_7}{d_7} \leq v_3 - V_b \quad (36)$$

因此可由 Z_b 和 Z_a 的差值，則是接受此訂艙需求的最低營收，再將最低營收除以計費重量，即可求出接受此一訂艙需求所須的最低運價(R_{min})，如式(37)。

$$R_{min} = \frac{Z_b - Z_a}{Max(W_b, V_b)} \quad (37)$$

4.1.1 航班可用艙位毛重大於體積重

表 3 多航段航班可用艙位資料 ($i=1,3$ 毛重大於體積重)

$i=1-4$	w_i (kg)	v_i (kg)
1. BKK-TPE	10,000	8,000
2. PEN-TPE	9,000	9,000
3. TPE-SFO	12,000	10,000
4. TPE-CHI	9,000	9,000

根據上列表 2 多航段各 OD 之市場需求、運價和貨物比重數值與表 3 航班可用艙位，以航空公司常用的 excel 中規劃求解功能撰寫模擬程式以驗證式(16)~(37)，運算 9 筆不同貨物比重的訂艙需求，可以得出表 4 之接受訂艙之最低運價，可以看出當訂艙需求為拋貨(體積重大於毛重)和毛重等於體積重時，接受訂艙的最低運價較高，而重貨(毛重大於體積重)時接受訂艙的最低運價較低，且當訂艙需求愈重(即毛重與體積重的比愈大)時，接此一訂艙需求的最低運價則愈低。

表 4 航班毛重大於體積重靜態模式求出之最低運價

訂艙需求		最低運價
毛重 W_b (kg)	體積重 V_b (kg)	R_{min} (TWD)
500	100	34
400	100	41
300	100	52
200	100	73
100	100	139
100	200	135
100	300	134
100	400	133
100	500	133

4.1.2 航班可用艙位體積重大於毛重

表 5 多航段航班可用艙位資料 ($i=1,3$ 體積重大於毛重)

$i=1-4$	w_i (kg)	v_i (kg)
1. BKK-TPE	8,000	10,000
2. PEN-TPE	9,000	9,000
3. TPE-SFO	10,000	12,000
4. TPE-CHI	9,000	9,000

訂艙需求同 4.1.1 之例，將航班可用艙位改為體積重大於毛重，即是將表 3 可用艙位數值改為表 5($i=2$ 和 4 之可用艙位資料不變，但 $i=1$ 和 3 之可用艙位毛重與體積重數據互換)，可以得到下列表 6 之接受訂艙最低運價數值，發現其結果與 4.1.1 相仿，當航班可用艙位為體積重大於毛重時，接受重貨的最低價較高，而接受拋貨的運價則隨著訂艙需求愈拋(即體積重與毛重的比愈大)逐漸變小。

表 6 航班體積重大於毛重靜態模式求出之最低運價

訂艙需求		最低運價
毛重 W_b (kg)	體積重 V_b	R_{min} (TWD)
500	100	126
400	100	126
300	100	126
200	100	126
100	100	126
100	200	63
100	300	42
100	400	32
100	500	25

經 4.1.1 和 4.1.2 兩節以二組不同型態的航班可用艙位以靜態數值驗證可知，本研究提出的靜態營收管理模式，於航班可用艙位為毛重大於體積重時，會多收重貨的訂艙需求，且越重的貨物可給予較低的運價；此結果與實務作業上當航班貨運酬載(payload)即是航班可用毛重大於艙容時(capacity)即航班可用體積重時，應多接受重貨訂艙，以增加貨載和營收，且可隨著貨重比調整運價以利收取較多的重貨之實務作業概念完全相符。反之，當航班艙容大於酬載時，則可調降拋貨運價以多收拋貨，以增加貨載和營收之結果亦同。

另一個重要的結果是當訂艙需求出現時，本研究提出之模式可計算出接受訂艙之最低運價，可於實務上做為航空公司艙位控管和訂艙決策時之重要參考依據，以目前實務作業上對於各個不同的訂艙需求在運價的調整上，多只能以所謂的經驗法則和人工判斷，且對於不同貨重比的訂艙需求在運價調整上亦無一定之計算準則，而此靜態營收管理模式可得出不同貨重比訂艙需求的最低運價，可提供精確數值以為航空公司艙位控管人員決策時之參考依據，以有效的提升貨運營收。

4.2 動態數值測試

由 4.1 節靜態數值測試中可知，本研究提出之模式可做為航空公司訂艙控管決策的參考依據，然而以航空公司艙位控管作業中，訂艙需求出現的時間也是一個影響決策非常重要的因素，因此本節的動態數值測試是將本研究之靜態營收管

理模式延伸以動態數值測試，係以訂艙需求出現時間區分為不同時間點，由班機開始接受訂艙需求之時間起，反覆操作靜態數值測試至班機截止接受訂艙需求為止，以達到動態數值測試的成效。

同圖 8 多航段網路模式，4 個航段與 8 個 OD 組合，假設共有 $n (n=1, \dots, N)$ 票訂艙需求其相關資料已知，包含毛重(W_n)、體積重(V_n)、計費重(CW_n)和運價(R_n)，所以模式由開始(訂艙需求出現)到結束(停止接受訂艙)共可區分為 n 個決策時段，而根據這些已知的訂艙需求可算出在決策時段 n 起至模式結束(N)時，相關數值：運價(r_j^n)，貨重比(d_j^n)，和市場需求(D_j^n)的平均值如式(39)~(41)。

符號說明：

g_{mj} : 0-1 參數，1 代表 OD j 包含訂艙需求 n ，0 代表沒有。

$$CW_n = \text{Max}(W_n, V_n) \quad (38)$$

$$r_j^n = \frac{\sum_{m=n+1}^N (g_{mj} CW_m R_m)}{\sum_{m=n+1}^N g_{mj} CW_m}, \forall j = 1 \sim 8 \quad (39)$$

$$d_j^n = \frac{\sum_{m=n+1}^N g_{mj} W_m}{\sum_{m=n+1}^N g_{mj} V_m}, \forall j = 1 \sim 8 \quad (40)$$

$$D_j^n = \sum_{m=n+1}^N g_{mj} W_m, \forall j = 1 \sim 8 \quad (41)$$

因此當每個決策時段 n 之訂艙需求毛重(W_n)、體積重(V_n)和運價(R_n)出現時，將航班可用毛重 w_i^n 與體積重 v_i^n 與所有對應之參數以第三章之靜態營收管理模式即式(16)~(32)計算，可以得出於決策時段 n 時不接受訂艙需求時航班可用艙位之營收估計值，也就是目標式 Z_b^n 。

而同一決策時段 n 假若接受訂艙，則航班可用毛重需減去此訂艙需求之毛重(W_n)，因此航班可用毛重為 $w_i^n - W_n$ ，同理，航班可用體積重則是 $v_i^n - V_n$ ，同樣以式(16)~(32)計算可以得出於決策時段 n 時，接受訂艙後航班可用艙位之營收估計值即是目標式 Z_a^n 。

如第三章模式建構中所述，於決策時段 n 時此一貨運訂艙控管決策，是以比較訂艙需求 n 的營收($CW_n R_n$) 是否大於不接受訂艙需求時可用艙位之營收估計值(Z_b)與接受訂艙後可用艙位之營收估計值(Z_a)的差值，若訂艙需求的營收較高或與差值相同則決定接受訂艙，但若較低則拒絕，即是當式(42)成立時為接受訂艙需求，反之則拒絕訂艙需求。

$$CW_n R_n \geq Z_b^n - Z_a^n \quad (42)$$

於決策時段 n 當式(42)成立決定接受訂艙需求後，下一個決策時段 $n+1$ 時，航班可用的毛重和體積重則需減去已接受的訂艙需求毛重(W_n)和體積重(V_n)，如式(43)和(44)，但若於決策時段 n 式(42)不成立而拒絕訂艙需求時，決策時段 $n+1$ 之

航班可用的毛重和體積重則與決策時段 n 之 w_i^n 與 v_i^n 相同。
符號說明：

h_{ni} : 0-1 參數，1 代表航段 i 包含訂艙需求 n ，0 代表沒有。

$$w_i^n = w_i^{n-1} - h_{ni} W_{n-1} \quad (43)$$

$$v_i^n = v_i^{n-1} - h_{ni} V_{n-1} \quad (44)$$

本節之動態數值測試，航班可用艙位皆以表 7 之艙位資料為依據，並將各模擬驗證案例之訂艙需求，以 excel 中規劃求解功能撰寫模擬程式驗證式(38)~(44)，所計算出之訂艙管理決策，並比較本訂艙管理模式所做之決策是否與實務作業相仿，並比較兩者之差異。

表 7 多航段航班可用艙位資料

$i=1-4$	w_i^0 (kg)	v_i^0 (kg)
1. BKK-TPE	10,000	8,000
2. PEN-TPE	9,000	9,000
3. TPE-SFO	12,000	10,000
4. TPE-CHI	9,000	9,000

4.2.1 小型範例之模擬驗證

下列表 8 左起 1-6 欄是實務作業之訂艙需求，而此小型範例模擬測試旨在確認當訂位需求小於航班可用艙位時，本訂艙管理模式所做之決策是否與實務作業上當需求小於航班可用艙位時，艙位控管人員所做訂艙決策相同。

表 8 小型範例模擬之訂艙需求與 RM 決策結果

$n=1\sim 14$	ORG	DEST	W_n (kg)	V_n (kg)	R_n (TWD)	RM 決策
1	BKK	TPE	463	33	12	Y
2	BKK	SFO	1,166	750	18	Y
3	BKK	CHI	144	117	22	Y
4	PEN	TPE	75	100	26	Y
5	PEN	SFO	125	150	120	Y
6	PEN	CHI	462	462	110	Y
7	TPE	SFO	710	980	99	Y
8	TPE	CHI	200	298	15	Y
9	TPE	CHI	771	680	18	Y
10	TPE	SFO	39	48	89	Y
11	PEN	CHI	1,090	437	92	Y
12	PEN	SFO	3	9	70	Y
13	PEN	TPE	372	359	60	Y
14	BKK	CHI	27	5	50	Y

此一小型範例數值測試結果如上列表 8 右邊第一欄，由此結果可知，當訂艙需求少於可用艙容時，此本研究提出之數學規劃訂艙決策模式，會全部接受每個決策時段出現的訂艙需求，此一結果與同樣情況下實務作業艙位控管人員所做之決策完全相符，而 excel 模擬驗證過程記錄於附錄一。

4.2.2 實務範例之模擬收益驗證

本節之實務範例驗證是以三個實務案例數據(分別為 N=32, 51 和 71)進行訂艙控管決策模擬，以比較模式決策與人工判斷兩種不同決策模式航班收益的比較。

範例一 (N=32)

表 9 實務作業訂艙需求(N=32)與 RM 決策和人工判斷結果

$n=1\sim 32$	ORG	DEST	$W_n(\text{kg})$	$V_n(\text{kg})$	$R_n(\text{TWD})$	人工判斷	RM 決策
1	BKK	SFO	301	501	115	N	Y
2	PEN	SFO	276	234	182	Y	Y
3	PEN	SFO	2,350	1,837	123	Y	Y
4	TPE	CHI	197	199	124	Y	Y
5	TPE	CHI	175	43	124	Y	Y
6	PEN	TPE	625	650	46	Y	Y
7	BKK	SFO	1,615	1,336	110	Y	Y
8	BKK	SFO	700	835	121	N	Y
9	BKK	TPE	1,130	980	35	Y	N
10	PEN	CHI	2,080	2,672	128	Y	Y
11	PEN	TPE	230	110	48	Y	Y
12	PEN	TPE	60	20	55	Y	Y
13	BKK	SFO	1,150	668	118	Y	Y
14	TPE	CHI	600	591	93	Y	Y
15	TPE	CHI	420	340	126	Y	Y
16	TPE	CHI	300	208	129	Y	Y
17	BKK	SFO	138	120	125	N	Y
18	BKK	SFO	200	334	127	N	Y
19	BKK	TPE	233	371	40	N	N
20	PEN	CHI	130	301	201	Y	Y
21	PEN	CHI	858	668	134	Y	Y
22	TPE	CHI	270	487	104	Y	Y
23	TPE	SFO	57	61	154	N	Y
24	TPE	CHI	430	203	126	Y	Y
25	BKK	SFO	1,600	1,200	116	Y	N
26	BKK	CHI	257	501	117	N	N
27	BKK	TPE	505	500	38	Y	Y
28	BKK	CHI	2,284	2,798	128	N	N
29	PEN	TPE	780	762	47	Y	Y
30	PEN	TPE	1,000	1,500	42	N	N
31	TPE	CHI	260	303	113	Y	Y
32	TPE	CHI	1,000	118	119	N	Y

由上列表 9 左起 1~6 欄之實務作業數據，以本研究之訂艙控管模式所做之決策為表 9 右起第 1 欄，而右起第 2 欄則是實務作業人工判斷決策，根據此二種不同決策模式的結果，可整理出下表 10 之收益比較表。

表 10 範例一(N=32)實務範例模擬收益比較表

	RM 決策(A)	人工判斷(B)	差異(A-B)	差異% (A-B)/B
計費重量(kg)	17,229	17,090	139	1%
貨運營收(TWD)	1,949,994	1,828,359	121,635	7%
航班毛重使用率	82%	84%	-2%	
航班體積重使用率	73%	71%	2%	

由表 10 可以觀察出，範例一的收益模擬結果，雖然使用本研究之訂艙控管模式所做之決策，使得航班毛重使用率降低了 2%，但航班體積重使用率也增加了 2%，使得整體計費重量增加約 1%，因而貨運營收可較人工判斷增加 7%。

範例二 (N=51)

此範例 N 值由範例一的 N=32 增加為 N=51，而實務訂艙需求相關數據和模式與人為決策結果如附錄二，由此範例之模式決策和人工判斷所做的決策，可整理出下表 11 之收益比較表。

表 11 範例二(N=51)實務範例模擬收益比較表

	RM 決策(A)	人工判斷(B)	差異(A-B)	差異% (A-B)/B
計費重量(kg)	22,409	21,675	734	3%
貨運營收(TWD)	2,441,515	2,300,780	140,735	6%
航班毛重使用率	95%	97%	-1%	
航班體積重使用率	95%	82%	13%	

表 11 可以觀察到與範例一之表 10 相似的現象，即雖然使用本研究之訂艙控管模式所做之決策，使得航班毛重使用率降低了 1%，但航班體積重使用率卻大幅增加了 13%，因此整體計費重量則是增加 3%，而貨運營收則較人工判斷增加 6%。

範例三 (N=71)

範例中的訂艙需求由範例二的 N=51 再增加為 N=71，此範例之實務訂艙需求數據和模式模擬與人為判斷決策則記錄於附錄三，而根據此範例以模式模擬之決策和人工判斷所做的決策，可整理出表 12 之收益與貨載比較表。

表 12 範例三(N=71)實務範例模擬收益比較表

	RM 決策(A)	人工判斷(B)	差異(A-B)	差異% (A-B)/B
計費重量(kg)	24,498	21,173	3,325	16%
貨運營收(TWD)	2,614,272	2,281,904	332,369	15%
航班毛重使用率	90%	97%	-7%	
航班體積重使用率	84%	75%	9%	

表 12 呈現出與範例一之表 10 和範例二表 11 相似的結果，使用本研究之訂艙控管模式所做之決策，航班毛重使用率降低了 7%，然而航班體積重使用率卻大幅增加了 9%，因此計費重量也是顯著的增加 16%，而貨運營收則較人工判斷增加了 15%。

綜觀本節所做的實務範例收益驗證，可以推斷出人為判斷所做的決策往往為了追求較高的航班毛重使用率，卻造成航班體積重使用率不佳，使得計費重量也相對較少，如範例二和三航班毛重使用率皆高達 97%，但體積重卻僅使用了 82%和 75%；而本研究提出之訂艙控管決策雖然會造成毛重使用率下降，但所增加的體積重卻能大過毛重的減少，而能增加計費重量，且因實務上重貨運價會比一般貨或是拋貨為低，所以本研究提出的訂艙控管決策，可以降低重貨(較低運價)的收受，而增加拋貨(較高運價)的收受，不僅可以增加計費重量且可有效達到提升營收的成效。

第五章 結論與建議

5.1 結論

以營收管理的發展而言，目前航空客運業對於營收管理的運用已相當成功，而於航空貨運業的運用上，尚須考慮許多不同的特性，如貨物重量、材積與形狀等需求與供給面不同特性，仍未能普遍使用。本研究希望將目前已廣泛運用於客運業之營收管理觀念，應用至航空貨運業的經營管理與日常作業上，能將航空公司有限的貨運艙位有效的規劃與管控，以期提升航空公司貨運收益。而隨著現今航空網路多朝著軸輻式型態發展，單一航段的營收管理模式，已無法符合實務作業面的需求，因此考量網路型態的多航段營收管理研究也相對的日益重要。

因此本研究將不符合實務作業的單一航段營收管理模式，延伸至以考量網路型態的多航段航空貨運營收管理模式；且將問題規模太大會造成求解困難的動態數學規劃模式簡化為靜態數學規劃，又將客、貨運業間最大的差異，即貨物之重量與材積兩項維度同時考慮，發展出考量網路型態之航空貨運訂艙控管決策。

並運用實務經驗與數據，以目前航空公司人員常用的 Excel 撰寫模擬程式，分別以靜態和動態的模式進行數值測試與效益驗證，以確定此一靜態數學規劃營收管理模式可用於航空貨運訂艙控管決策，可提供航空公司改善目前以人工判斷與經驗法則為依據的貨運艙位控管策略，並達到航空公司提升貨載與貨運營收的目標。

靜態數值測試中，可以計算出不同貨重比例訂艙需求的最低運價，以利航空公司艙位控管人員做為決策判斷依據；且得出之不同貨重比例訂艙需求最低運價值也與實務經驗相符，當航班可用艙容為毛重大於體積重時，應多接受重貨的訂艙需求，以增加貨載、提升艙位使用率和增加營收；反之，則應多接受拋貨的訂艙需求。

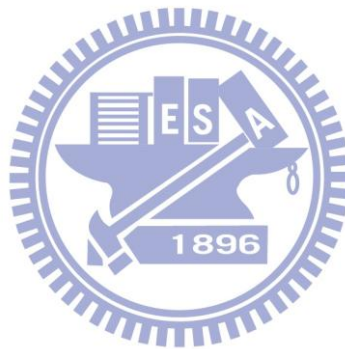
而動態數值測試是以訂艙需求出現的時間順序，區分為不同決策時段，以實際的訂艙需求數據，反覆進行靜態數值測試以期達到動態數值測試的效果。小型範例模擬測試的結果可以發現，當訂艙需求少於可用艙容時，本研究提出之訂艙控管決策模式，與實務作業完全相同，會全部接受每個決策時段出現的訂艙需求。

而動態數值實務範例的模擬收益結果和人為判斷決策相較，雖然會造成航班毛重減少，但增加的體積重卻是大於毛重的減少，且因實際上拋貨運價往往較重貨高，如此不但可以提升計費重量，更能有效的增加貨運營收約 6~15%。所以可以確定本研究提出之考量網路型態之航空貨運訂艙控管決策，可於實務上解決航空貨運訂艙控管決策問題，提供航空公司改善目前以人工判斷與經驗法則為依據的貨運艙位控管策略，並達到航空公司提升貨載與貨運營收的目標。

5.2 建議

本研究是以簡單的數學模式，運用在航空貨運營收管理和貨運訂艙控管決策問題，因此建議未來相關之後續研究可以增加討論下列幾點因素：

1. 本研究是以實務數據進行驗證，然而實際決策時並無法取得如此精確的訂艙需求，因此後續之相關研究，可考量需求不確定性與不同訂艙需求出現機率，將如何做出較為精確的動態訂艙需求預估列入考慮。
2. 除了本研究發展測試的 4 航段網路問題外，可以增加航段與網路規模的航空貨運網路問題進行研究。
3. 本研究未考量供給面之不確定性與可接受分批走貨的情形，可以將這些因素適當地反映在模式中進行深入探討。



參考文獻

- 石豐宇、黃瑞財 (1996), 「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。
- 石豐宇、郭維杰 (1999), 「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。
- 交通部統計處資料, <http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite>, 2010/10/08。
- 汪進財、蔡言宏 (2001), 「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。
- 許文秀 (2004), 考慮供給不確定性之航空貨運營收管理, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 張雯瑋 (2005), 以解構方式求解網路營收管理問題之競價控管法, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 張格禎 (2007), 以近似法求解考慮材積與重量之航空貨運營收管理問題, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 梁宇彤 (2007), 求解航空網路營收管理問題—以動態規劃模型之期望收益函數估計法, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- 陳雅妮 (2001), 航空公司航班客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。
- 陳昭宏、張有恆 (1999), 「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。
- 顏上堯、陳茂南 (2000), 「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。
- Amaruchkul, K., Cooper, W. L. and Gupta, D. (2007), "Single-Leg Air-Cargo Revenue Management," *Transportation Science*, Vol. 41, pp.457-469.
- Belobaba, P.P. (1989), "Application of a Probabilistic Decision Model to Airline Seat Inventory Control," *Operations Research*, Vol. 37, No.2, pp.183-197.
- Boeing (2010), World Air Cargo Forecast 2010-2011, http://www.boeing.com/commercial/cargo/01_06.html, 2010/10/08.
- Brumelle, S.L. and McGill, J.I. (1993), "Airline Seat Allocation with Multiple Nested Fare Classes," *Operations Research*, Vol 41, No.1, pp.127-137.
- Curry, R.E. (1990), "Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations," *Transportation Science*, Vo 24, No.3, pp.193-204.
- Huang, K. and Hsu, W. (2005), "Revenue Management for Air Cargo Space with Supply Uncertainty," *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp.570-580.
- Huang, K. and Chang, K. (2010), "An approximate algorithm for the two-dimensional air cargo revenue management problem," *Transportation Research Part E*, pp.570-580.

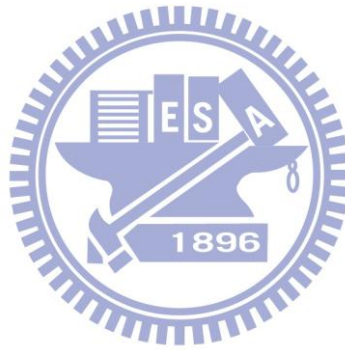
- Kasilingam, R.G. (1996), "Air Cargo Revenue management: Characteristics and Complexities," *European Journal of Operational Research*, Vol 96, pp.36-44.
- Luo, S. and Cakanyildirim, M. (2004), "Two Dimensional Cargo Overbooking Models," *the proceedings of the 35th Annual Meeting of Decision Sciences Institute*, Nov. 20-23, Boston, MA, pp.3781-3786.
- Lee, T. C. and Hersh, M. (1993), "A Model for Dynamic Airline Seat Inventory Control with Multiple Seat Bookings," *Transportation Science*, Vol 27, No.3, pp.252-265.
- Littlewood K. (1972), "Forecasting and Control of Passenger Bookings", AGIFORS Symposium Proc. 12, Nathanya, Israel.
- McGill, J.I. and van Ryzin, G. J. (1999), "Revenue management: Research Overview and Prospects," *Transportation Science*, Vol 33, No.2, pp.233-256.
- Moussawi, L., Cakanyildirim, M. (2005), "Profit Maximization in Air Cargo Overbooking," Working Paper, School of Management, University of Texas at Dallas, Richardson, TX.
- Subramanian, J., Stidham Jr., S. and Lautenbacher, C.J. (1999), "Airline yield management with overbooking, cancellations, and no-shows," *Transportation Science*, Vol 33, No. 2, pp.147-167.
- Talluri, K.T. and van Ryzin, G.J. (2004), *The Theory and Practice of Revenue Management*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 2004.
- Weatherford, L.R. and Bodily S.E. (1992), "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing," *Operations Research*, Vol 40, No. 5, pp.831-844.
- Williamson (1992), E.L., Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts, Ph.D. thesis, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Wollmer, R.D. (1992) "An Airline Seat Management Model for a Single Leg Route When Lower Fare Classes Book First," *Operations Research*, Vol 40, No.1, pp.26-37.

附錄一 Excel 動態數值驗證

	Period	1	2	3	4	5	6
Cap-W V							
BKK-TPE	1	7,500	7,037	5,871	5,727	5,727	5,727
PEN-TPE	2	8,000	8,000	8,000	8,000	7,925	7,800
TPE-SFO	3	7,000	7,000	5,834	5,834	5,834	5,709
TPE-CHI	4	8,500	8,500	8,500	8,356	8,356	8,356
BKK-TPE	1	7,000	6,967	6,217	6,100	6,100	6,100
PEN-TPE	2	8,500	8,500	8,500	8,500	8,400	8,250
TPE-SFO	3	8,000	8,000	7,250	7,250	7,250	7,100
TPE-CHI	4	9,000	9,000	9,000	8,883	8,883	8,883
Demand-W							
BKK-TPE	1	463	0	0	0	0	0
BKK-SFO	2	1,166	1,166	0	0	0	0
BKK-CHI	3	171	171	171	27	27	27
PEN-TPE	4	447	447	447	447	372	372
PEN-SFO	5	128	128	128	128	128	3
PEN-CHI	6	1,552	1,552	1,552	1,552	1,552	1,552
TPE-SFO	7	749	749	749	749	749	749
TPE-CHI	8	971	971	971	971	971	971
GW/WW Density							
BKK-TPE	1	13.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BKK-SFO	2	1.55	1.55	1.00	1.00	1.00	1.00
BKK-CHI	3	1.41	1.41	1.41	5.72	5.72	5.72
PEN-TPE	4	0.97	0.97	0.97	0.97	1.04	1.04
PEN-SFO	5	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.32
PEN-CHI	6	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
TPE-SFO	7	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
TPE-CHI	8	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Basic Rate							
BKK-TPE	1	12	0	0	0	0	0
BKK-SFO	2	18	18	0	0	0	0
BKK-CHI	3	26	26	26	50	50	50
PEN-TPE	4	53	53	53	53	60	60
PEN-SFO	5	117	117	117	117	117	70
PEN-CHI	6	97	97	97	97	97	97
TPE-SFO	7	99	99	99	99	99	99
TPE-CHI	8	17	17	17	17	17	17
Allocating-R							
BKK-TPE	1	12	0	0	0	0	0
BKK-SFO	2	18	18	0	0	0	0
BKK-CHI	3	26	26	26	50	50	50
PEN-TPE	4	54	54	54	54	60	60
PEN-SFO	5	146	146	146	146	146	220
PEN-CHI	6	97	97	97	97	97	97
TPE-SFO	7	135	135	135	135	135	135
TPE-CHI	8	17	17	17	17	17	17
Allocation-W							
	1	0	0	0	0	0	0
	2	1,166	0	0	0	0	0
	3	171	171	27	27	27	27
	4	447	447	447	372	372	372
	5	128	128	128	128	3	3
	6	1,552	1,552	1,552	1,552	1,552	1,090
	7	749	749	749	749	749	749
	8	971	971	971	971	971	971
Used-W V							
	1	1,337	171	27	27	27	27
	2	2,127	2,127	2,127	2,052	1,927	1,465
	3	2,043	877	877	877	752	752
	4	2,694	2,694	2,550	2,550	2,550	2,088
	1	871	121	19	5	5	5
	2	1,517	1,517	1,517	1,440	1,261	999
	3	1,938	1,188	1,188	1,188	1,032	1,038
	4	1,998	1,998	1,896	1,882	1,882	1,614
OBJ		337,615	316,627	312,823	309,395	293,334	248,578
Decision	1	1	1	1	1	1	1
Revenue		5,556	20,988	3,168	2,600	18,002	50,820
OBJ-2		337,615	316,627	313,459	311,560	293,557	242,737
OBJ 1-2		0	0	-637	-2,164	-223	5,840
Item-GW		463	1,166	144	75	125	462

	Item-VW	33	750	117	100	150	462
	Item-CW	463	1,166	144	100	150	462
	Rate	12	18	22	26	120	110
	Item-revenue	5,556	20,988	3,168	2,600	18,002	50,820
	Item-OD						
	BKK-TPE	1	1				
	BKK-SFO	2		1			
	BKK-CHI	3			1		
	PEN-TPE	4				1	
	PEN-SFO	5					1
	PEN-CHI	6					
	TPE-SFO	7					
	TPE-CHI	8					
	GW						
	BKK-TPE	1	463	0	0	0	0
	BKK-SFO	2	0	1,166	0	0	0
	BKK-CHI	3	0	0	144	0	0
	PEN-TPE	4	0	0	0	75	0
	PEN-SFO	5	0	0	0	0	125
	PEN-CHI	6	0	0	0	0	0
	TPE-SFO	7	0	0	0	0	462
	TPE-CHI	8	0	0	0	0	0
	VW						
	BKK-TPE	1	33	0	0	0	0
	BKK-SFO	2	0	750	0	0	0
	BKK-CHI	3	0	0	117	0	0
	PEN-TPE	4	0	0	0	100	0
	PEN-SFO	5	0	0	0	0	150
	PEN-CHI	6	0	0	0	0	0
	TPE-SFO	7	0	0	0	0	462
	TPE-CHI	8	0	0	0	0	0
	CW						
	BKK-TPE	1	463	0	0	0	0
	BKK-SFO	2	0	1,166	0	0	0
	BKK-CHI	3	0	0	144	0	0
	PEN-TPE	4	0	0	0	100	0
	PEN-SFO	5	0	0	0	0	150
	PEN-CHI	6	0	0	0	0	0
	TPE-SFO	7	0	0	0	0	462
	TPE-CHI	8	0	0	0	0	0
	Revenue						
	BKK-TPE	1	5,556	0	0	0	0
	BKK-SFO	2	0	20,988	0	0	0
	BKK-CHI	3	0	0	3,168	0	0
	PEN-TPE	4	0	0	0	2,600	0
	PEN-SFO	5	0	0	0	0	18,002
	PEN-CHI	6	0	0	0	0	0
	TPE-SFO	7	0	0	0	0	50,820
	TPE-CHI	8	0	0	0	0	0
	Item-leg-WV						
	BKK-TPE	1	463	1,166	144	0	0
	PEN-TPE	2	0	0	0	75	125
	TPE-SFO	3	0	1,166	0	0	125
	TPE-CHI	4	0	0	144	0	0
	BKK-TPE	1	33	750	117	0	0
	PEN-TPE	2	0	0	0	100	150
	TPE-SFO	3	0	750	0	0	150
	TPE-CHI	4	0	0	117	0	0
	Reduced-WV						
	1	7,037	5,871	5,727	5,727	5,727	5,727
	2	8,000	8,000	8,000	7,925	7,800	7,338
	3	7,000	5,834	5,834	5,834	5,709	5,709
	4	8,500	8,500	8,356	8,356	8,356	7,894
	1	6,967	6,217	6,100	6,100	6,100	6,100
	2	8,500	8,500	8,500	8,400	8,250	7,788
	3	8,000	7,250	7,250	7,250	7,100	7,100
	4	9,000	9,000	8,883	8,883	8,883	8,422
	Allocation-W						
	1	0	0	0	0	0	0
	2	1,166	0	0	0	0	0
	3	171	171	27	27	27	27
	4	447	447	447	372	372	372
	5	128	128	128	128	3	3
	6	1,552	1,552	1,552	1,552	1,552	1,090
	7	749	749	749	749	749	749

	8	971	971	971	971	971	971
Used-W							
1	1,337	171	27	27	27	27	27
2	2,127	2,127	2,127	2,052	1,927	1,465	
3	2,043	877	877	877	752	752	
4	2,694	2,694	2,550	2,550	2,550	2,088	
1	871	121	19	5	5	5	
2	1,517	1,517	1,517	1,440	1,261	999	
3	1,938	1,188	1,188	1,188	1,032	1,038	
4	1,998	1,998	1,896	1,882	1,882	1,614	



附錄二 實務作業訂艙需求(N=51)與 RM 決策和人工判斷結果

$n=1\sim 51$	ORG	DEST	$W_n(\text{kg})$	$V_n(\text{kg})$	$R_n(\text{TWD})$	人工判斷	RM 決策
1	BKK	TPE	2778	2,482	35	N	N
2	BKK	TPE	909	680	39	Y	N
3	PEN	SFO	480	633	129	N	Y
4	PEN	SFO	500	500	130	Y	Y
5	BKK	SFO	800	1,333	117	N	Y
6	PEN	CHI	146.0	333	136	N	Y
7	PEN	CHI	110.0	167	137	Y	Y
8	BKK	CHI	2,352.0	3,667	125	N	N
9	BKK	CHI	334.0	390	128	Y	Y
10	PEN	TPE	812	839	43	N	N
11	BKK	TPE	354	225	38	N	Y
12	TPE	SFO	577	1,000	130	Y	Y
13	PEN	SFO	45	18	135	Y	Y
14	BKK	SFO	960	1,000	119	N	Y
15	PEN	CHI	833.0	832	135	Y	Y
16	PEN	CHI	650.0	900	134	N	Y
17	PEN	CHI	1,125.0	1,250	133	N	Y
18	BKK	CHI	2,097.0	2,000	124	Y	Y
19	BKK	CHI	122.0	167	130	Y	N
20	TPE	CHI	484.0	502	125	Y	Y
21	TPE	CHI	53.0	113	127	Y	Y
22	BKK	CHI	500.0	231	127	Y	N
23	BKK	CHI	71.0	87	131	Y	N
24	PEN	CHI	458.0	700	136	Y	Y
25	BKK	SFO	1150	917	118	Y	N
26	PEN	CHI	93.5	137	138	Y	Y
27	TPE	SFO	1885	1,667	128	Y	Y
28	BKK	TPE	667	667	39	N	N
29	BKK	TPE	44	38	45	Y	N
30	PEN	TPE	649	783	42	N	Y
31	PEN	TPE	1580	1,500	40	Y	N
32	PEN	TPE	829	322	41	N	N
33	PEN	TPE	924	767	42	Y	Y
34	BKK	TPE	421	142	40	N	Y
35	BKK	SFO	605	800	120	Y	Y
36	PEN	SFO	1200	1,000	126	Y	N
37	BKK	SFO	422	325	125	Y	Y
38	BKK	CHI	70.0	80	130	Y	N
39	TPE	CHI	2,115.0	1,250	123	Y	Y
40	TPE	CHI	245.0	255	128	Y	N
41	BKK	CHI	98.0	83	131	Y	N
42	BKK	CHI	493.0	258	127	Y	N
43	PEN	CHI	51.0	52	140	Y	N
44	TPE	SFO	300	300	132	Y	Y
45	PEN	SFO	216	231	132	Y	Y
46	TPE	SFO	20	22	150	Y	Y
47	BKK	TPE	1878	944	35	N	N
48	BKK	TPE	348	504	38	N	Y
49	PEN	TPE	1713	411	41	Y	Y
50	PEN	TPE	402	653	44	N	N
51	TPE	CHI	143.0	165	126	Y	N

附錄三 實務作業訂艙需求(N=71)與 RM 決策和人工判斷結果

$n=1\sim 71$	ORG	DEST	$W_n(\text{kg})$	$V_n(\text{kg})$	$R_n(\text{TWD})$	人工判斷	RM 決策
1	BKK	CHI	1,361	1,333	125	Y	N
2	PEN	SFO	91	119	135	Y	N
3	TPE	CHI	233	127	144	Y	Y
4	BKK	TPE	380	330	40	Y	Y
5	PEN	SFO	161	500	130	N	N
6	PEN	TPE	120	122	47	Y	Y
7	BKK	TPE	99	100	45	Y	Y
8	TPE	SFO	587	167	130	Y	Y
9	TPE	CHI	315	222	144	Y	Y
10	BKK	CHI	165	267	130	N	Y
11	BKK	CHI	44	60	135	Y	Y
12	PEN	CHI	11	18	150	Y	Y
13	TPE	CHI	550	118	142	Y	Y
14	BKK	SFO	798	837	122	Y	N
15	TPE	SFO	343	417	136	N	Y
16	BKK	TPE	160	212	40	N	Y
17	BKK	TPE	533	450	38	N	Y
18	PEN	TPE	263	50	45	Y	Y
19	PEN	TPE	115	100	48	Y	Y
20	BKK	TPE	770	700	38	Y	Y
21	BKK	TPE	242	220	40	Y	Y
22	TPE	SFO	215	203	138	Y	Y
23	BKK	SFO	633	674	120	N	Y
24	PEN	CHI	772	663	136	Y	Y
25	BKK	CHI	391	400	130	N	Y
26	BKK	CHI	285	359	128	N	Y
27	PEN	CHI	729	500	135	Y	Y
28	PEN	CHI	223	233	138	Y	Y
29	TPE	CHI	250	160	144	Y	Y
30	TPE	CHI	65	24	141	Y	Y
31	PEN	SFO	634	900	129	N	N
32	PEN	SFO	225	300	135	N	Y
33	TPE	SFO	374	1,167	130	N	Y
34	BKK	TPE	295	250	40	Y	Y
35	PEN	TPE	190	158	48	Y	Y
36	PEN	TPE	430	400	46	Y	Y
37	BKK	TPE	660	500	39	Y	Y
38	PEN	TPE	769	500	44	Y	Y
39	BKK	SFO	1,170	883	116	Y	Y
40	PEN	SFO	336	300	134	Y	Y
41	PEN	CHI	261	587	137	N	Y
42	BKK	CHI	1,513	615	123	Y	N
43	BKK	CHI	116	226	127	N	Y
44	PEN	CHI	189	183	136	Y	N
45	BKK	SFO	307	326	125	N	N
46	PEN	TPE	800	655	43	Y	Y
47	PEN	TPE	510	550	45	N	Y
48	TPE	SFO	189	167	133	Y	Y
49	PEN	TPE	240	268	47	Y	Y

50	BKK	CHI	28	45	150	Y	Y
51	PEN	CHI	29	100	140	Y	Y
52	TPE	CHI	132	38	143	Y	Y
53	TPE	CHI	59	14	140	Y	Y
54	TPE	CHI	218	212	145	Y	Y
55	BKK	CHI	131	50	126	N	N
56	PEN	CHI	219	72	137	Y	N
57	PEN	SFO	100	167	136	N	Y
58	TPE	CHI	957	1,402	123	N	Y
59	BKK	SFO	1,003	1,350	118	N	N
60	TPE	CHI	978	1,199	124	N	Y
61	TPE	SFO	1,047	1,333	129	Y	Y
62	PEN	SFO	550	500	130	Y	Y
63	PEN	SFO	176	167	135	Y	Y
64	PEN	SFO	1,121	1,333	127	Y	N
65	TPE	SFO	384	274	137	Y	Y
66	PEN	SFO	264	130	131	Y	Y
67	TPE	CHI	806	604	124	Y	Y
68	TPE	CHI	407	302	145	Y	Y
69	BKK	SFO	539	565	121	N	N
70	TPE	CHI	348	439	144	N	Y
71	TPE	CHI	236	255	145	N	N

