

定期航運艙位超賣模式之研究

A SLOT ALLOCATION MODEL WITH OVERBOOKING FOR LINER SHIPPING

李際偉 Vincent C. Li¹
咎延慶 Yen-Ching Tsan²

(98 年 9 月 8 日收稿，98 年 12 月 25 日第一次修改，
99 年 2 月 10 日第二次修改，99 年 9 月 20 日定稿)

摘要

定期航運業常因顧客臨時取消貨櫃運送或是減少艙位需求，造成空艙之損失。艙位是不可儲存之商品，船公司可運用收益管理之超賣策略，求取適當的超賣數量，將艙位做更有效的分配利用而提升利潤。再者，由於國際貨櫃流量之不平衡，船公司必須做好空櫃調度，以降低因貨櫃流量不平衡所帶來之龐大成本負擔。本文以銷售艙位之數量為著眼點，探討定期航運艙位超賣下單一航線之艙位分配模式，在考量各港口有其獨立之離散型顧客到達率情形下，提供船公司一套系統化的方式，藉以決定單一航次之艙位銷售數量以及空櫃調度，求取最大化利潤。經由案例顯示具超賣策略之模型，可帶給船公司更高之期望利潤，且其影響隨著顧客到達率之不確定性增高而更為顯著。

關鍵詞：定期航運；艙位分配；收益管理；超賣策略；空櫃調度

-
1. 國立嘉義大學企業管理學系助理教授（聯絡地址：60054 嘉義市新民路 580 號嘉義大學企業管理學系；電話：05-2732845；E-mail：vincentcli@mail.ncyu.edu.tw）。
 2. 國立東華大學全球運籌管理研究所碩士。

ABSTRACT

The liner shipping industry often suffers from no-shows and cancelations that make some container slots empty for a voyage. Container slots are perishable assets and can not be stored for the next voyage. A liner shipping company can enhance the slot utilization and reduce unused capacity by properly adopting the overbooking strategy, an important element of revenue management. On the other hand, due to the unbalanced container flow caused by the international trade pattern, a liner shipping company has to reposition the containers efficiently and effectively to satisfy the container need while trimming the reposition cost. In this paper, we discuss slot allocation on a single route by considering slot overbooking. By assuming a discrete customer show-up rate at each port, we propose a systematic approach to determine the amount to sell and the way to reposition empty containers so as to maximize the profit of the liner shipping company. We use a numerical example to show that the proposed overbooking model can increase the expected profit of the company. Moreover, the influence of adopting overbooking becomes more pronounced when the uncertainty of the customer show-up rate increases.

Key Words: *Liner shipping; Slot allocation; Revenue management; Overbooking strategy; Empty container reposition*

一、前言

定期航運業是一資本密集產業，船公司必須投資大量船舶與貨櫃等固定成本，對於航商而言，當船舶離港後，未能利用到之艙位都是無形的損失（機會成本），而隨著全球船舶漸趨大型，艙位分配對營收的影響自是不可小覷。此外，定期航運國際貨櫃流量長期以來由於全球進出口貿易的特性，使其雙向不易平衡，舉例來說，亞洲由於製造成本遠低於歐美各先進國家，貨櫃一向出多進少，在貨櫃流量不平衡下，航商為了降低租櫃及買櫃之成本，必須做合乎經濟效益的空櫃調度。

而船舶所能提供的艙位是固定的，但顧客可能取消預約或未出現造成航商之損失。倘若顧客取消預約，航商還有可能在船舶離港前再爭取一些貨源彌補，但若在最後一刻才被知會，則航商將措手不及而難以應變。有鑑於此，航商應該設法出售超過船舶容量之艙位，但是若實際出現的貨櫃超出船舶容量，則航商必須另行設法運送（儲放並延期到下一航次或委請其它航商運送），此舉除了會引起顧客抱怨，也會衍生實際相關的費用，所以超售數量多少之拿捏是非常重要的。

雖然超賣策略已廣為航空客運業採用，超賣艙位的情形也確實存在於定期航運業，但在定期航運相關文獻中，並未有將空櫃調度及超賣策略結合於多重航段艙位分配的研究。有鑑於此，本研究應用收益管理之概念，在各港口之顧客到達率呈離散型機率分布下，針對航商單一航線、單一航次、多重航段，建立包含超賣策略及空櫃調度之艙位分配數學模型，目的為使航商透過適當的艙位超賣策略，決定銷售艙位之數量（重櫃接單量）、空櫃調

度量以及重櫃因艙位不足造成的退關量（簡稱退關量），以提升總利潤。

本文後續之架構如下：第二節回顧收益管理及艙位分配之文獻，第三節提出研究假設並據以建構一數學模型，第四節探討一案例並分析其結果，第五節提出結論及對未來研究的建議。

二、文獻回顧

2.1 收益管理

1972 年 BOAC (現今的英國航空公司) 提出之折扣策略 (Littlewood's rule)^[1,2] 開啟了收益管理 (revenue management) 的應用，美國航空公司 (American Airlines) 在 1977 年美國航空管制即將解除之際，實施超級折扣方案 (super saving fares) 也帶動了日後北美收益管理之蓬勃發展 (McGill 與 Van Ryzin)^[3]。相關的文獻包羅了營收管理 (yield management)、超賣及定價等領域。Weatherford 與 Bodily^[4] 將收益管理依照資源、容量、價格等 14 項要素予以分類，連結相互獨立發展之領域；該篇作者並歸納了應用收益管理的三項基本特性，包含商品不可儲存、商品短期供給量難以調整，以及有可能以價格區格市場的機制。McGill 與 Van Ryzin^[3] 則彙整了自 60 年代開始至西元 2000 年間將收益管理運用在運輸業近二百篇學術著作，包含預測、超賣、艙位存貨控制與定價等四項主要領域。

繼航空客運業後，收益管理已陸續被運用在許多產業諸如：旅館、租車、郵輪、零售業、製造業等。定期航運適合運用收益管理因為其商品 (艙位) 無法儲存、必須符合載重量及艙位數之限制、商品可透過訂位系統預先出售、需求面對相當之不確定性。舉例來說在此領域，Kleywegt^[5] 發表了合約規劃及訂位控制兩個模型，以決定最佳艙位分配策略。一般定期航運市場有兩種訂單，即合約型與臨時需求，前者比例較高，但後者邊際利潤較高，所以在已經接受前者時，是否要延後其運送，Lee 等人^[6] 針對此問題提出一隨機動態規劃方法。

丁士展^[7] 及 Ting 與 Tzeng^[8] 提出了一定期航運收益管理之系統 (liner shipping revenue management)，並設計一艙位分配數學模型。有鑑於多數文獻僅探討遠洋航線，然而近洋航線艙位分配之複雜程度並不亞於遠洋航線，Feng 與 Chang^[9] 運用收益管理建立一個模型來處理近洋航線之艙位分配，並應用此模型於臺灣的一個案例，獲得不錯之成效。

2.2 艙位分配

定期航運在給定訂價之下，船公司需考量各櫃種運送利潤之邊際貢獻，在有限的船舶艙位數量下，避免運送過多低邊際貢獻之櫃種以防排擠運送高邊際貢獻櫃種之機會，並且考量空艙位所造成之損失，透過安排不同類型艙位及起迄對之數量，以達到利潤最大化之

目的。

定期航運業除了需要艙位外，還需要貨櫃才可提供服務，而貨櫃流量在各區域之間（比如遠東到美西）不平衡的現象，衍生了空櫃調度問題，空櫃調度所產生的成本相當可觀，根據 Wang 與 Wang^[10] 於 2007 年指出，全球海運及陸運空櫃調度年成本已達 250 億美元，並預測此成本將持續大幅上升，諸如空櫃的持有、存貨成本以及損失以重櫃服務賺取利潤的機會。當有重櫃運送需求時，貨櫃航商如果僅以運送重櫃之收益為考量，則可能導致其後運送空櫃成本之攀升而有可能收益不敷成本，所以空櫃調度的重要性不言可喻。

就空櫃調度而言，Crainic 等人^[11] 將重櫃需求視為已知，提出兩個確定性動態規劃模型，來處理單種空櫃及多種空櫃之情境，另也針對單種空櫃面臨不確定性下提出一隨機模型。Cheung 與 Chen^[12] 設計一個網路以兩階段隨機規劃決策空櫃調度問題。陳淑芬^[13] 則以兩階段數學模式處理定期航運之空櫃調度問題，第一階段求取各港口在兩個航次間可產生的空櫃量；第二階段則判斷第一階段每一港口在航次間所產生之空櫃量，是否足以應付下一航次之出口貨櫃需求，如無法滿足需求或空櫃量太多，則調度空櫃或租櫃。

以下我們探討艙位分配的研究：丁士展^[7] 於其博士論文中處理定期航運之收益管理模式，將其分為長期、短期規劃兩部分，長期包括顧客管理、成本管理、市場監控、航線規劃以及船隊排程；短期包括貨載需求預測、艙位分配、定價、貨櫃調度以及動態艙位控制。其中在艙位分配上，丁士展^[7] 提出了多目標之數學模型，以利同時處理利潤最大化以及滿足代理商等兩種矛盾之目標，並配合模糊理論來處理貨運需求等不確定之限制式。許家瑋^[14] 將租櫃、還櫃及各港口持有貨櫃以及空櫃調度納入加以考量，並提出以各區域貨櫃流量守恆取代各港口之貨櫃流量守恆，以表示各區域中貨櫃可互相流通之特性；同時為了突顯貨物運送需求之不確定性，以模糊數學規劃法處理重櫃之運送需求。Ang 等人^[15] 討論多期之艙位分配問題的特性，提出一多維多重背包問題 (multi-dimensional multiple knapsack problem) 的模型，來求解如何在有限的船艙下最大化船商的利潤，由於此最佳化問題屬於 NP-Hard 的層級，該篇作者以啟發式演算法求近似解。Li^[16] 運用一隨機動態模型來處理單一航段、多種貨櫃及多個訂艙時段的艙位接單問題，由於同時考慮載重及體積之限制，問題亦極為複雜，乃提出分解限制式方式並以啟發式演算法求解。

2.3 超賣策略

定期航運艙位容量固定且無法儲存，顧客可能取消預約、未出現或是變動所需艙位，若能正確的估計顧客訂艙之後貨物的到達率，而賣出超過艙位容量的適當數目，則可彌補因臨時取消或是減少艙位需求所造成的空艙損失，所以如何訂定超賣策略，是定期航運業不容忽視的課題。超賣策略在航空客運已行之有年，Rothstein^[17] 將航空客運在此策略上的發展做了詳盡的描述。而航空貨運有諸多特性與航空客運不同，所以適用於航空客運之超賣策略勢有調整之必要 (Bartodziej 等人^[18])。以航空客機之貨運而言，其 (1) 裝載容量會受到旅客托運行李之影響 (若純粹是貨機則裝載容量為固定)，(2) 容量包含了三個維

度：體積、重量及可放置位子之數目，以及 (3) 航空貨運起迄港之外的行程是具有調整彈性（貨運顧客只要求在指定時間內由出發地運抵目的地）(Kasilingam)^[19]。定期航運裝載容量雖為固定，但是其航程可包含許多港口，使得各港口之間裝載容量限制相互影響。定期航運與航空貨運有許多相似之特性，所以航空貨運之收益管理方法可提供很好的參考。

準確的顧客到達率是超賣策略是否奏效的關鍵，它可以降低空艙之浪費或是延後運輸的情形。航空客運常用常態分配估計顧客到達率，但 Popescu 等人^[20]則以實証顯示常態分配未必較離散型機率分布估計航空貨運顧客到達率之結果為佳。目前探討超賣策略之文獻多應用於航空業，於處理定期航運業艙位分配問題上，仍少被加入考量，實際上艙位分配與超賣策略息息相關，超賣策略影響艙位供給進而影響艙位分配之結果。

本研究以離散型機率分布表達顧客到達率。我們可以根據 Phillips^[21]定義超賣策略應用之環境特性與定期航運業之環境作一比較如下：

1. 商品不具可儲存性：定期航運業所提供之商品為提供載運服務之艙位與貨櫃，此兩項商品都不具儲存性，無法將其所載運之空間儲存下來，在下一航次時服務。
2. 商品預約不限於馬上使用，允許於未來使用：定期航運若預約艙位後因故未達，顧客或船公司則將艙位預約取消，若未來需使用，再行預約。
3. 延後服務已預約成功之客戶時，其相對成本較低：船公司採取超賣策略，當艙位不足以運送所有重櫃運輸時，船公司可能延後運送、或委託其他航運公司代為服務，實際耗費成本通常較空櫃造成之損失為低。

在擬定期航運超賣策略時，有三項核心要素，包含商品數上限、銷售之數量及顧客之實際出現率，最簡單的方式可以商品數上限除以顧客之實際出現率，來決定應銷售之數量 (Phillips)^[21]。李冰川等人^[22]針對單一航段，以一般連續機率分配的方式處理顧客之到達率，分別在有無空櫃調度需求的考量下，求得靜態之最佳艙位超賣量。

三、數學模型建構

定期航運實務上雖已有艙位超賣行為，但仍需一套較完善之管理科學方法，以協助船公司同時處理艙位分配、顧客之到達率以及超賣策略等問題，達到利潤最大化之目標。

在處理定期航運業艙位分配時，目的為決定各起迄港各櫃種合適之運輸量，以獲取最高利潤；別於以往以艙位分配量為決策變數，本研究改以接單量的角度，並考量各港口有其各別之顧客到達率、超賣策略。本節建構一考慮超賣策略之艙位分配數學模型，以期幫助航商處理超賣時之艙位分配。

3.1 研究假設

茲概述本研究之假設及限制如下：

1. 處理單一航線、單次航程、多重航段之艙位分配。
2. 雖然實務上船公司會使用租櫃，但本研究僅針對船公司自有櫃探討，使研究重點更顯簡單明確。
3. 定期航運櫃種複雜，在不失普遍性下，本研究限定於 20 呎以及 40 呎之乾櫃與冷凍櫃（皆含空櫃），冷凍櫃必須放置於有冷凍櫃插座之處，乾櫃則無此限制。
4. 實務上，各航線所承載之貨櫃重量，依據其所承載貨物種類、櫃型以及託運量有所不同，本研究將各貨種之重量以平均重量代替。
5. 各起迄港運送貨櫃之相關成本、定價、顧客到達率之分布皆假設已知。
6. 各港口之顧客到達率假設呈離散型機率分布，各種不同到達率皆有一對應之機率，而所有不同到達率之機率和為 1。

3.2 數學模型之建構

本研究考量超賣策略、空櫃調度以及滿足重櫃載運之需求，據以分析艙位分配，以達到利潤最大化。各起迄港不同櫃種之接單量將視為決策變數，當重櫃接單量決定過高，導致實際運輸需求超過船艙位數上限，須決定將某部分之接單退關，以符合艙位數量限制，但必須負擔退關衍生之成本；反之，若接單量決定過低，則可能導致收益下降。

本研究以策略規劃之觀點，在艙位分配模式中同時處理船公司重櫃接單量、空櫃調度量以及面臨艙位供給不足時，重櫃之退關量等決策變數，提供船公司處理艙位超賣完整之決策，其決策變數間之關係為：決策各櫃種於各起迄港間之接單量，以及空櫃調度量後，根據接單量以及各港口到達率不同之組合下，產生其對應之實際重櫃運量需求，而後判斷實際之重櫃運量需求是否能負荷（船舶艙位、載重限制），如能負荷，則重櫃退關量為零，反之則需決定合適之重櫃退關量。

在介紹數學模式之前，先說明符號、定義變數及參數如下。

符號：

i ：代表裝櫃港， $i \in I \equiv \{1, 2, \dots, n\}$ ；

j ：代表卸櫃港， $j \in J \equiv \{1, 2, \dots, o\}$ ；

g ：代表航段， $g \in G \equiv \{1, 2, \dots, p\}$ ；

θ ：代表各裝櫃港 i 以顧客到達率 π_i 出現時之組合， $\theta \in \Theta \equiv \{1, 2, \dots, \omega\}$ ，若裝櫃港 i 有 λ_i 種顧客到達率，則 $\omega = \prod_{i=1}^n \lambda_i$ ；

k ：代表貨櫃種類代號， $k \in K \equiv \{1, 2, 3, 4\}$ ，分別代表 20 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃、40 呎乾櫃及 40 呎冷凍櫃；

e ：代表空櫃；

f : 代表重櫃 ;

v : 代表退關。

決策變數 (皆為非負之整數) :

s_{ijk} : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之重櫃接單量 ;

x_{ijk} : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之空櫃接單量 ;

O_{ijk}^θ : 在裝櫃港 i 以顧客到達率 π_i 出現時之組合 θ 之情況下，面臨艙位超賣時，第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之重櫃退關量。

參數 :

P_{ijk} : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之重櫃單位運送收入 ;

C_{ijk}^f : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之重櫃單位運送成本 ;

C_{ijk}^e : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之空櫃單位運送成本 ;

C_{ijk}^v : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之重櫃退關處理成本 ;

π_i : 裝櫃港 i 重櫃運輸服務購買顧客之到達率 (本研究假設各港口擁有其各自之顧客到達率分布，其呈現離散型機率分布，例如港口 i 之顧客到達率有 40% 之機率為九成，30% 之機率為九成五，30% 之機率為十成，機率總和為 100%) ;

$A(\theta)$: 各裝櫃港以其顧客到達率出現之組合 θ ，其對應之機率 ;

α_{ij}^g : 判斷貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 之航程是否包含 g 航段，若包含則此參數為 1，反之則為 0 ;

D_{ijk} : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 船公司可接單量之上限 ;

D_{ijk}^L : 第 k 型貨櫃由裝櫃港 i 到卸櫃港 j 船公司可接單量之下限 ;

D_{ijk}^e : 已由調櫃部計算後所決定第 k 型空櫃於卸櫃港 j 之需求量 ;

q : 船舶艙位數量上限 ;

u : 船舶載重上限 ;

R : 船舶冷凍櫃插座數量 ;

t_k : 代表第 k 型貨櫃所占之艙位數， $t_k = 1$ 當 $k = 1$ or 2 ， $t_k = 2$ 當 $k = 3$ or 4 ;

w_k^f : 第 k 型重櫃之平均重量 ;

w_k : 第 k 型空櫃之重量。

於艙位分配數學模型中，下列三項限制可預先處理 :

1. 空櫃調度量限制：若裝櫃港 i 至卸櫃港 j 不屬於航線之行經順序，則無法載運空櫃以調節貨櫃流量，故於此情形時，空櫃調度量 (x_{ijk}) 之值為零。

2. 遠洋航線通常不服務近洋區之需求：實務上基於利潤之考量，遠洋航線通常不服務近洋區之需求（特殊情形如淡季時以遠洋航線服務近洋區需求減少損失不在本研究考慮範圍），本研究之研究案例為東亞至歐洲之遠洋航線，則不服務東亞區、歐洲區之內部重櫃運輸需求，如上海至寧波之航運需求，即當裝櫃港 i 與卸櫃港 j 為同一區時，其重櫃接單量 (S_{ijk}) 為 0。
3. 重櫃退關量限制：當各港口之顧客到達率皆處於最低顧客到達率之情況下，則應無艙位不足情形，（因即便超賣也無法服務，提高之接單量並無意義），故於此情況下，各櫃種於各起迄港間之重櫃退關量 (O_{ijk}^{θ}) 皆應為零。舉例來說，原有 1,000 個艙位，最差之到達率為 80%，則接單量不應超過 1,250 個艙位，此情況下也不應有任何起迄港間之退關量產生。假設接單量為 1,200 個，若實際到達率為 90%，則造成退關量為 80 個 ($1,200 \times 90\% - 1,000 = 80$)。

以下列出最佳化數學模式：

$$\begin{aligned} \max \sum_{\theta \in \Theta} A(\theta) [& \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i \cdot s_{ijk} - O_{ijk}^{\theta}) \cdot (p_{ijk} - c_{ijk}^f)] \\ & - \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (x_{ijk} \cdot c_{ijk}^e) - \sum_{\theta \in \Theta} A(\theta) [\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (O_{ijk}^{\theta} \cdot c_{ijk}^v)] \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^{\theta}) \alpha_{ij}^g w_k^f + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\alpha_{ij}^g w_k^e x_{ijk}) \leq u, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^{\theta}) \alpha_{ij}^g t_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\alpha_{ij}^g t_k x_{ijk}) \leq q, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k=2,4} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^{\theta}) \alpha_{ij}^g \leq R, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (4)$$

$$D_{ijk}^L \leq s_{ijk} \leq D_{ijk}^U, \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$O_{ijk}^{\theta} \leq s_{ijk} \pi_i, \forall i \in I, j \in J, k \in K, \theta \in \Theta \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \geq D_{jk}^e, \forall j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$s_{ijk}, x_{ijk}, O_{ijk}^{\theta} \geq 0 \text{ 並為整數 } \forall i \in I, j \in J, k \in K, \theta \in \Theta \quad (8)$$

在此模型中，目標式 (1) 為最大化艙位分配後之淨利潤。對於船公司而言，其艙位分配主要之收益來源為重櫃運送之收入，而成本則包含運送重、空櫃以及退關處理成本。本研究將重櫃之接單量 (S_{ijk}) 以及艙位超賣時重櫃之退關量 (O_{ijk}^{θ}) 皆視為決策變數，重櫃之實際運送量是由重櫃接單量乘以顧客之到達率 (π_i)，減去超賣艙位時之重櫃退關量所

求得。由於顧客之到達率呈現一離散型機率分布，故計算其期望成本。

限制式 (2) 說明重櫃之實際運輸量載重加上空櫃運輸量載重，不得超過船舶載重上限 (u)。此限制式以運輸網路之角度，將航線中起港口與終了港口之間，切割為 p 個航段，透過限制每一航段不可超過船舶最高載重，來達到船舶載重限制式之目的，其主要透過一 0-1 參數 α_{ij}^g 表達各航段 g 是否有在港口 i 至港口 j 之航線中被經過，有被經過值為 1，未經過為零，以完成整條限制式。同理，限制式 (3) 說明艙位之限制，亦即各航段艙位之實際需求量（重櫃加上空櫃之運輸量），減去重櫃退關量所占之艙位數，須不大於船舶艙位上限。限制式 (4) 代表冷凍櫃供電插座數量，冷凍櫃專門用以裝載需冷凍之貨物，其內部具有隔熱裝置，並且每一冷凍櫃皆配備冷凍機，協助冷凍櫃保持適當低溫之狀態，船舶所能載運冷凍櫃重櫃運輸之多寡，受限於該船舶配備之冷凍櫃供電插座數 (R)；冷凍櫃重櫃之實際運輸量，是由冷凍櫃重櫃接單量乘上顧客之到達率，再減去艙位超賣時冷凍櫃之退關量所求得。限制式 (5) 的意義如下：船公司根據各起迄港之需求，各櫃種有其重櫃接單量上限 (D_{ijk}^U)，下限 (D_{ijk}^L) 則是船公司已與代理行、貨主簽訂合約，所須履行之最低重櫃接單量。限制式 (6) 的意義如下：當船公司因超賣導致艙位不足時，其需從各起迄港各櫃種之實際重櫃運輸量中選擇適當之數量予以退關，故各起迄港各櫃種超賣時所能退關之數量，將受限於各起迄港各櫃種之實際重櫃運輸量。限制式 (7) 表示各港口運往卸櫃港之空櫃總量，必須滿足該卸櫃港之空櫃需求量 (D_{jk}^e)。限制式 (8) 表示本模型所有之決策變數皆為非負之整數。

四、案例探討與結果分析

本節之目的為驗證前章定期航運業艙位分配數學模式應用之正確性，透過選擇一東亞—歐洲遠洋航線作為研究案例，實際蒐集其運價以及船舶設備等相關資訊。

電腦配備之記憶體為 1.99GB，中央處理器 2.39GHz，以 ILOG OPL6.0 配合最佳化軟體 CPLEX11.0 予以求解，而後針對結果作出相關分析。

4.1 研究案例相關資料說明

本研究以某船公司東亞-歐洲遠洋航線為本研究之研究案例，於該遠洋航線，船公司每一星期發一班船，提供港口每週之貨櫃運輸服務；本研究之研究船舶規格為載重噸 68,834 噸，5,618 艙位容積數，並配備 500 個冷凍櫃插座數，以服務冷凍櫃之運輸需求。考量之貨櫃種類為 20 呎一般櫃、40 呎一般櫃、20 呎冷凍櫃、40 呎冷凍櫃等四種。本研究採該航線之 6 個港口，8 個航段，其港口行經順序為上海 (SHA) — 寧波 (NIN) — 廈門 (XIA) — [蘇伊士運河] — 漢堡 (HAM) — 鹿特丹 (ROT) — 利哈佛 (LEH) — [蘇伊士運河] — 廈門—寧波—上海 (蘇伊士運河為一通道而非港口)。

重櫃運送之價格時常變動，本研究假設重櫃運輸成本為運價之 25%；當船公司實行超

賣策略，面臨艙位供給不足時，需將本航次適量之重櫃需求量予以退關，以符合船舶艙位上限，而重櫃退關時，需要將其運輸需求延後航次服務。本研究假設船公司須負擔重櫃於此段期間之存放成本，並假設其為重櫃運輸成本之 50%。

艙位接單量之需求上限，則考量到現今國際貨櫃流量日趨不平衡之情形，可發現近五年來由東亞運往歐洲之貨櫃量通常為歐洲運往東亞之貨櫃量之兩倍以上³，以 2008 年東亞運往歐洲之貨櫃量為例，大約為歐洲運往東亞櫃量之 2.8 倍。

而顧客到達率之考量，經由業界訪談，確認其已會考慮顧客可能購買貨櫃運輸服務卻因故未到、取消服務等情形，進而實行艙位超賣之策略，最常用、簡單之方式便是假設顧客到達率為九成，作為艙位銷售時之考量，但仍缺乏有系統之方式同時處理艙位分配與超賣特性。本研究假設各港口之顧客到達率有 40% 之機率為九成，30% 之機率為九成五，30% 之機率為十成。

4.2 結果分析

本研究案例適用於單一航次之規劃，案例模式包含 106,724 個之整數變數，124,531 條限制式，結果分析如下。

4.2.1 重櫃接單量分析

表 1 至 4 各起迄對分左右兩側：左側部分為重櫃接單量分配，重櫃接單量若等於可接單量之上限則數字上加橫線，若等於下限則數字下加底線，若位於上限與下限之間則無特別標記；右側斜體字之部分為該櫃種於該起迄港接單之邊際貢獻（接單之邊際貢獻等於重櫃運送之價格減去運輸成本，各櫃種於起迄港運輸之運價、運輸成本等資料，可參考附錄資料 A 及 B）。表 1 至 4 依序為 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃之重櫃接單量分配，結果顯示接單之邊際貢獻較高之重櫃，優先指派到艙位，如寧波港送往利哈佛港之 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃以及 40 呎冷凍櫃，由於邊際貢獻最高，接單量皆達上限，冷凍櫃則由於有冷凍櫃插座數之限制，故集中邊際貢獻高之 40 呎冷凍櫃接單量，20 呎冷凍櫃則未達接單量之上限；在歐洲銷往東亞之重櫃接單量，由於船舶可用艙位數（載重上限）許可，故所有接單量皆達上限值；在東亞銷往歐洲之重櫃接單量，可看出廈門港銷往歐洲各港口之重櫃接單量大部分皆只達接單量之下限，其原因為邊際貢獻低，故由該港銷往其他卸櫃港之接單量只達下限，以避免造成艙位占用，排擠運送邊際貢獻高之櫃種的機會，並且將各航段所能利用之艙位數集中銷售於邊際貢獻最高之起迄對，如寧波港銷往歐洲各港口之重櫃接單量。

3. Reported by MDS Transmodal research group in Containerisation International Magazine published by Informa UK Ltd, England in October 2008.

4.2.2 空櫃調度量分析

表 5 至 8 依序為 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃之空櫃調度量分配，表格中左側之部分為空櫃調度量分配，右側斜體之部分為該空櫃櫃種於該起迄港運送之成本（空櫃於各起迄港運輸成本之資料可參考附錄資料 D）。由空櫃調度結果可發現，各起迄港空櫃調度之成本，以及空櫃占去艙位數進而可能排擠運送高邊際貢獻櫃種之機會，

表 1 20 呎乾櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	-		-		-		<u>600</u>	282	<u>50</u>	244	<u>50</u>	244
NIN	-		-		-		391	263	<u>600</u>	263	<u>600</u>	300
XIA	-		-		-		<u>50</u>	225	<u>50</u>	225	<u>50</u>	225
HAM	<u>200</u>	366	<u>200</u>	342	<u>200</u>	293	-		-		-	
ROT	<u>200</u>	317	<u>200</u>	342	<u>200</u>	293	-		-		-	
LEH	<u>200</u>	317	<u>200</u>	390	<u>200</u>	293	-		-		-	

表 2 40 呎乾櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	-		-		-		<u>300</u>	488	<u>30</u>	413	56	413
NIN	-		-		-		<u>300</u>	450	300	450	<u>300</u>	525
XIA	-		-		-		<u>30</u>	300	<u>30</u>	300	<u>30</u>	263
HAM	<u>100</u>	634	<u>100</u>	585	<u>100</u>	390	-		-		-	
ROT	<u>100</u>	537	<u>100</u>	585	<u>100</u>	390	-		-		-	
LEH	<u>100</u>	537	<u>100</u>	683	<u>100</u>	342	-		-		-	

表 3 20 呎冷凍櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	-		-		-		35	366	<u>20</u>	317	<u>20</u>	317
NIN	-		-		-		<u>20</u>	342	<u>20</u>	342	90	390
XIA	-		-		-		<u>20</u>	293	<u>20</u>	293	<u>20</u>	293
HAM	<u>40</u>	475	<u>40</u>	444	<u>40</u>	381	-		-		-	
ROT	<u>40</u>	411	<u>40</u>	444	<u>40</u>	381	-		-		-	
LEH	<u>40</u>	411	<u>40</u>	507	<u>40</u>	381	-		-		-	

表 4 40 呎冷凍櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	-		-		-		50	634	50	537	10	537
NIN	-		-		-		50	585	50	585	50	683
XIA	-		-		-		10	390	10	390	10	342
HAM	16	815	16	761	16	507	-		-		-	
ROT	16	697	16	761	16	507	-		-		-	
LEH	16	697	16	888	16	444	-		-		-	

表 5 20 呎乾櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	-	180	20	0	22	0	30	0	32	0	34
NIN	0	46	0	-	160	20	0	28	0	30	0	32
XIA	0	42	0	40	0	-	60	26	0	28	0	30
HAM	0	34	0	32	0	30	0	-	60	20	0	22
ROT	0	32	0	30	0	28	0	44	0	-	60	20
LEH	200	30	0	28	0	26	0	42	0	44	0	-

表 6 40 呎乾櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	-	130	30	0	32	0	40	0	42	0	44
NIN	0	56	0	-	0	30	0	38	0	40	0	42
XIA	0	52	0	50	0	-	45	36	0	38	0	40
HAM	0	44	0	42	0	40	0	-	45	30	0	32
ROT	0	42	0	40	0	38	0	54	0	-	45	30
LEH	150	40	0	38	110	36	0	52	0	54	0	-

表 7 20 呎冷凍櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	-	45	25	0	27	0	35	0	37	0	39
NIN	0	51	0	-	36	25	0	33	0	35	0	37
XIA	0	47	0	45	0	-	15	31	0	33	0	35
HAM	0	39	0	37	0	35	0	-	15	25	0	27
ROT	0	37	0	35	0	33	0	49	0	-	15	25
LEH	50	35	0	33	4	31	0	57	0	49	0	-

表 8 40 呎冷凍櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	-	25	35	0	37	0	45	0	47	0	49
NIN	0	61	0	-	0	35	0	43	0	45	0	47
XIA	0	57	0	55	0	-	9	41	0	43	0	45
HAM	0	49	0	47	0	45	0	-	9	35	0	37
ROT	0	47	0	45	0	43	0	59	0	-	9	35
LEH	30	45	0	43	20	41	0	57	0	59	0	-

皆會影響空櫃調度之決策，舉例來說，各櫃種之空櫃由上海港調度至寧波港之成本最低，空櫃調度之結果為寧波港各櫃種之空櫃需求皆由上海港滿足，但廈門港各櫃種之空櫃需求非全由最低運輸成本之寧波港滿足，如 20 呎冷凍櫃以及 40 呎冷凍櫃之空櫃需求有部分由利哈佛港滿足。

4.2.3 重櫃退關量分析

本研究考量在各港口顧客之到達率獨立變動之情形下，船公司可採取艙位超賣之策略，故船公司可能面臨實際重櫃運輸需求過高，造成艙位需求超過船舶可用艙位上限，或是實際運輸需求之載重超過船舶之載重上限，無論是哪一種情形，此時便必須將合適數量之重櫃予以退關，以符合各航段船舶艙位及載重限制。

各港口擁有其各自彼此獨立之顧客到達率，本研究考量所有可能出現之到達率組合，於各組合皆提供一最佳之重櫃退關量分配，表 9 至 12 將所有顧客到達率組合下各櫃種於各起迄港之重櫃退關量乘以該顧客到達率組合發生之機率，算出各櫃種於各起迄對平均之重櫃退關量，表格中左側之部分為重櫃平均退關量分配，右側斜體之部分為該重櫃櫃種於該起迄港退關之邊際成本（退關之邊際成本等於重櫃運輸之收入減去運輸成本加上退關之成本，運輸價格、運輸成本以及退關成本等資料，可參考附錄資料 A、B 及 C）。

由表 9 至 12 可發現，20 呎乾櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 80，約占 20 呎乾櫃平均退關總量 93 的 86%；40 呎乾櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 59，約占 40 呎乾櫃平均退關總量 69 的 86%；20 呎冷凍櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 10，約占 20 呎冷凍櫃平均退關總量 10 的 100%；40 呎冷凍櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 15，約占 40 呎冷凍櫃平均退關總量 15 的 100%，由結果可看出，不論於任何一櫃種，皆有很大比例之平均退關量是由廈門港運往各卸櫃港之重櫃組成，其主要因為退關之邊際成本較低，此外重櫃退關亦受限於各航段艙位、載重及冷凍櫃插座數。

表 9 20 呎乾櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	-	-	-	-	0	328	8	284	5	284	13		
NIN	-	-	-	-	0	306	0	306	0	350	0		
XIA	-	-	-	-	35	262	25	262	20	262	80		
HAM	0	426	0	398	0	441	-	-	-	-	0		
ROT	0	369	0	398	0	441	-	-	-	-	0		
LEH	0	369	0	455	0	441	-	-	-	-	0		
加總	0		0		0		35		33		25		93

表 10 40 呎乾櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	-	-	-	-	0	569	6	481	4	481	10		
NIN	-	-	-	-	0	525	0	525	0	612	0		
XIA	-	-	-	-	19	350	15	350	25	306	59		
HAM	0	739	0	682	0	455	-	-	-	-	0		
ROT	0	626	0	682	0	455	-	-	-	-	0		
LEH	0	626	0	796	0	398	-	-	-	-	0		
加總	0		0		0		19		21		29		69

表 11 20 呎冷凍櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	-	-	-	-	0	426	0	369	0	369	0		
NIN	-	-	-	-	0	398	0	398	0	455	0		
XIA	-	-	-	-	5	441	1	441	4	441	10		
HAM	0	554	0	517	0	444	-	-	-	-	0		
ROT	0	479	0	517	0	444	-	-	-	-	0		
LEH	0	479	0	591	0	444	-	-	-	-	0		
加總	0		0		0		5		1		4		10

表 12 40 呎冷凍櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	-	-	-	-	0	739	0	626	0	626	0	626	0
NIN	-	-	-	-	0	682	0	682	0	682	0	796	0
XIA	-	-	-	-	4	455	3	455	8	398	15		15
HAM	0	952	0	887	0	591	-	-	-	-	-	-	0
ROT	0	813	0	887	0	591	-	-	-	-	-	-	0
LEH	0	813	0	1035	0	517	-	-	-	-	-	-	0
加總	0		0		0		4		3		8		15

4.3 敏感度分析

本節首先探討顧客到達率分布對目標值及重櫃平均退關總量之影響，其次討論重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響。

4.3.1 顧客到達率分布敏感度分析

本研究假設各港口之顧客到達率機率分布為獨立，對於超賣策略來說，此機率分布有其之重要影響，在此案例中，原假設有四成的機會百分之九十的顧客會到達，有三成的機會百分之九十五的顧客會到達，另有三成的機會所有的顧客皆會到達。本節首先調整各港口顧客到達率之機率分布，依照九種不同之情境(A, B, ..., I)，並觀察其對艙位超賣時，重櫃之平均退關總量以及總利潤之影響。這九種不同之情境可由表 13 顯示。

表 13 顧客到達率分布敏感度情境之一

情境	到達率 1	到達率 2	到達率 3	到達率 1 之機率	到達率 2 之機率	到達率 3 之機率
A	90%	95%	100%	10%	45%	45%
B	90%	95%	100%	20%	40%	40%
C	90%	95%	100%	30%	35%	35%
D	90%	95%	100%	40%	30%	30%
E	90%	95%	100%	50%	25%	25%
F	90%	95%	100%	60%	20%	20%
G	90%	95%	100%	70%	15%	15%
H	90%	95%	100%	80%	10%	10%
I	90%	95%	100%	90%	5%	5%

圖 1 顯示目標值（主縱座標軸，以美元表示）之部分，隨著最低之顧客到達率（90%）發生機會增加（如情境 A 變化為情境 I），目標值持續減少，此原因為顧客之到達率，直接影響實際重櫃運輸量，當顧客到達率呈現下降趨勢，船公司實際運輸的重櫃量也相對減少，進而對於總利潤帶來明顯之不利影響；其次，比較顧客到達率變動對於重櫃平均退關總量（副縱座標軸）影響之情形，可看出重櫃平均退關總量隨著最低顧客到達率機率發生機會增加，有逐漸降低之趨勢，其原因為低到達率發生機會增加時，實際重櫃運輸量降低，因實際重櫃運輸需求過高而需將適當數量之重櫃予以退關之風險也隨之降低。

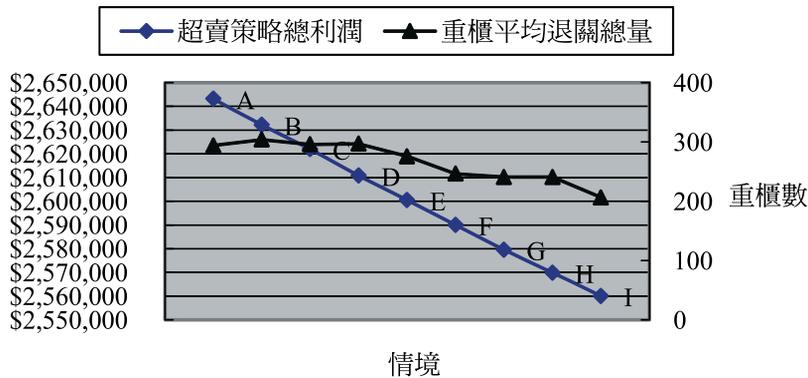


圖 1 顧客到達率機率分布對目標值及重櫃平均退關總量之影響

接下來我們以表 14 的五種情境 (J, K, L, M, D)，討論如果不同重櫃報到率下，對超賣策略以及重櫃平均退關總量的影響。圖 2 顯示在機率分布固定為 40%，30%及 30%情形下，目標值之部分（主縱座標軸），隨著顧客到達率增加而上升（如情境 J 變化為情境 D）；重櫃平均退關總量（副縱座標軸）則隨之下降，其原因為到達率增加時，超賣因而降低，重櫃退關機會也隨之降低。

表 14 顧客到達率分布敏感度情境之二

情境	到達率 1	到達率 2	到達率 3	到達率 1 之機率	到達率 2 之機率	到達率 3 之機率
J	50%	75%	100%	40%	30%	30%
K	60%	80%	100%	40%	30%	30%
L	70%	85%	100%	40%	30%	30%
M	80%	90%	100%	40%	30%	30%
D	90%	95%	100%	40%	30%	30%

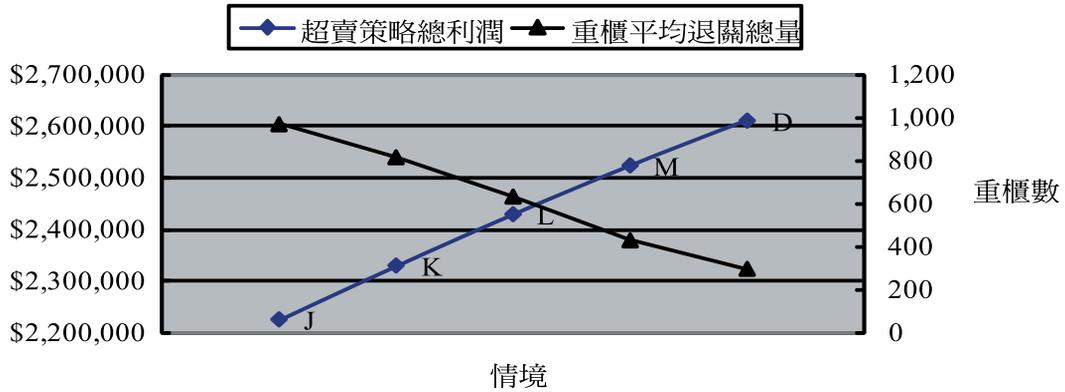


圖 2 顧客到達率對目標值及重櫃平均退關總量之影響

4.3.2 重櫃退關成本敏感度分析

船公司實行艙位超賣，當面臨實際運輸需求過高時，則必須將適量之重櫃予以退關，以符合船舶艙位及載重限制，本節針對各櫃種於各起迄港之重櫃退關成本，以原成本作等比例或等倍數變化，觀察其對於艙位超賣時，重櫃之平均退關總量（副縱座標軸）以及目標值之影響（主縱座標軸），由圖 3（退關價格為重櫃運輸成本之 10%~100%）及圖 4（退關價格為重櫃運輸成本之一至四倍）可看出總利潤隨著重櫃退關成本提升而減少。另一方面，重櫃平均退關總量亦隨著重櫃退關成本提升而減少，此乃因此成本影響超賣利基之故。

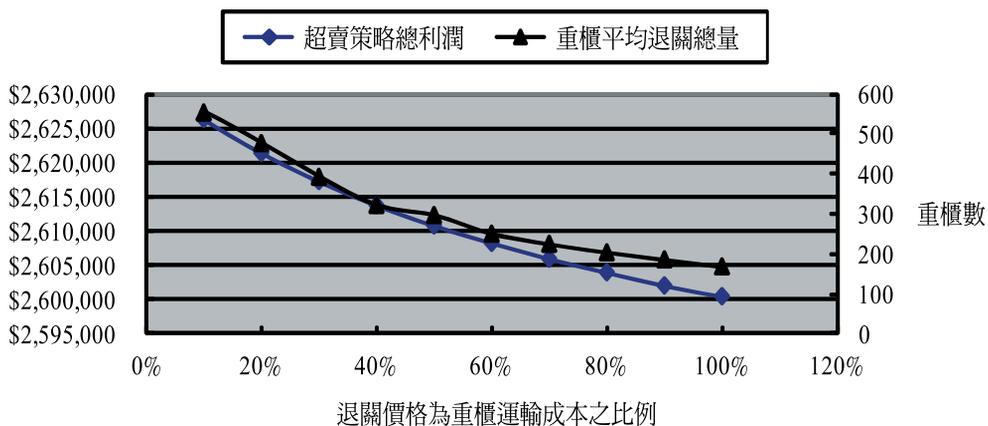


圖 3 較低重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響

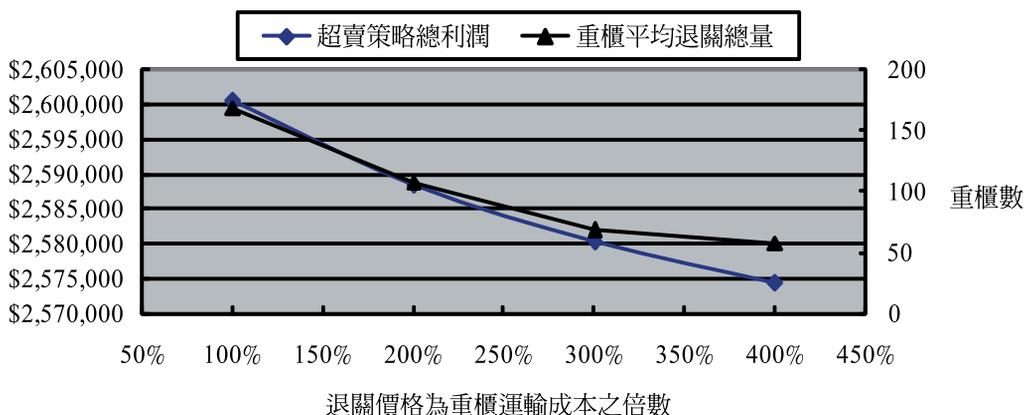


圖 4 較高重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響

4.4 超賣策略對利潤之影響

本研究別於以往文獻之處，主要為將艙位超賣策略納入艙位分配模型，本節探討超賣策略實行與否於不同顧客到達率下，對總利潤之影響。當不考慮超賣策略時，數學模式中的重櫃退關量 (O_{LK}^0) 皆為 0。由圖 5 至圖 7 可觀察到以下數點：

1. 圖 5 顯示隨著最低之顧客到達率（本案例為九成）發生機率增加（如情境 A 變化為情境 I），實行超賣策略與不實行超賣策略目標值（主縱座標軸）皆下降，其原因為隨著顧客訂艙卻未出現之機率增加，重櫃之實際運量下滑，直接影響目標值，但實行超賣策略相較於不實行超賣策略明顯可減緩利潤下滑之趨勢，因其透過艙位超賣，降低顧客未出現

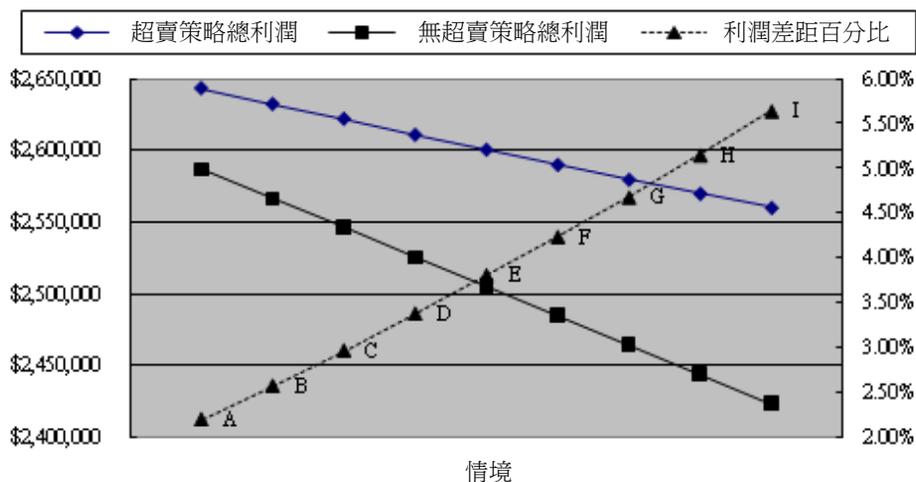


圖 5 超賣策略在不同顧客到達率機率分布下對目標值之影響

所帶來之風險，故目標值下降之比例（副縱座標軸）相較於不實行超賣策略時為低，舉例而言，超賣策略為情境 I 時可帶來約 5.64% 總利潤之提升，此提升比例優於情境 A。

- 圖 6 顯示隨著最低之顧客到達率增加（如情境 J 變化為情境 D），實行超賣策略與不實行超賣策略目標值（主縱座標軸）皆上升，但在情境 J 實行超賣策略比情境 D 益形重要，因為情境 J 顧客未出現所帶來之風險相較之下甚大，超賣策略為情境 J 可帶來約 15.51% 總利潤之提升（副縱座標軸）。
- 圖 7 顯示隨著退關價格增加，實行超賣策略總利潤將因而下降。

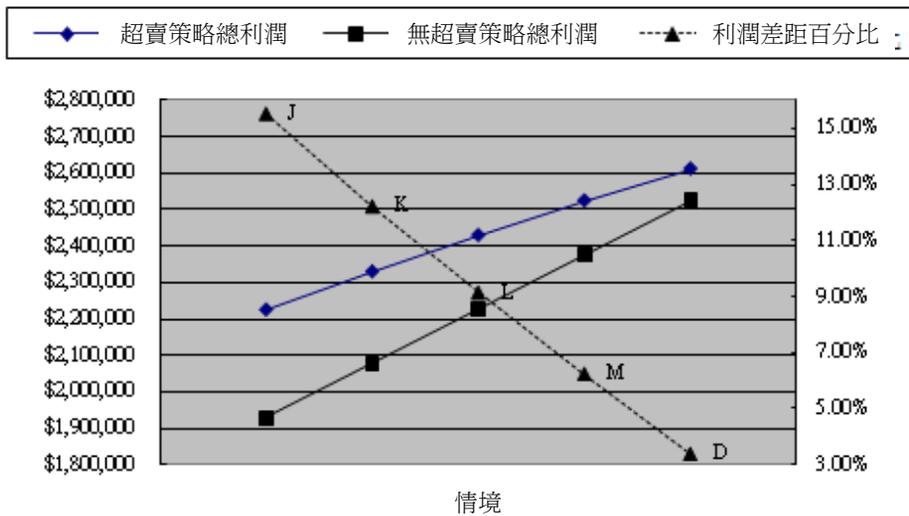


圖 6 超賣策略在不同顧客到達率下對目標值之影響

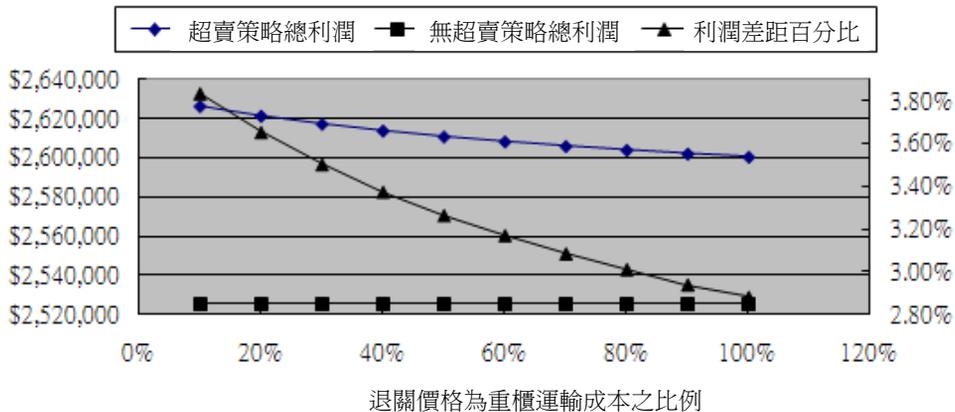


圖 7 超賣策略在不同退關價格下對目標值之影響

4.5 不同接單量上限對利潤之影響

由圖 8 可看出，隨著接單量上限增加，實行超賣策略與不實行超賣策略目標值皆上升，其原因為接單量之上升可增加重櫃運輸量，帶來利潤之增加，值得注意的是，無論行使超賣策略與否，目標值上升之斜率皆呈現遞減之情形，其原因為船舶艙位數量以及載重之上限固定，其最佳之接單量有限。此外在不同接單量上限時，實行超賣策略之期望總利潤值，皆優於不實行超賣策略之期望總利潤，其目標值差距之百分比，隨著接單量上限增加而遞增。

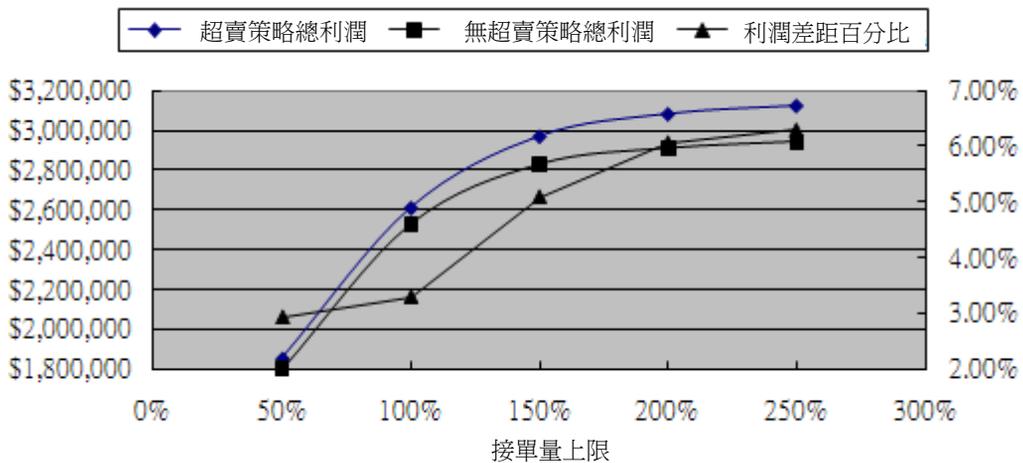


圖 8 不同接單量上限對目標值之影響

透過案例結果以及敏感度分析，可了解到艙位分配優先將艙位分配給邊際貢獻高之起迄對，在處理艙位超賣，重櫃實際運輸量大於船舶各項限制（艙位上限、載重上限、冷凍櫃插座數）時，需將合適數量之重櫃予以退關，重櫃之退關則優先選擇低退關邊際成本之起迄對。

五、結論與建議

5.1 結論

本研究處理單一航線、單次航程、多重航段之艙位分配，並僅針對船公司自有櫃探討，各貨種之重量以平均重量代替。各起迄港運送貨櫃之相關成本、定價、顧客到達率之分布

皆假設已知。本研究得到以下四點結論：

1. 定期航運業之艙位分配問題考量之要素相當廣，本研究以收益管理之概念，探討定期航運公司單一航線、單一航次、多重航段之艙位分配及空櫃調度問題。與以往討論艙位分配文獻不同之處在於本研究加入超賣策略、接單量等偏向銷售層面之考量，以期能更接近實務，尋求進一步提升利潤之機會，最後透過案例驗證數學模型之成效。
2. 本研究提出一數學模型，提供船公司最佳之接單量、空櫃調度量以及於各顧客到達率組合下之退關量等重要決策，可供業界實務操作面之參考。
3. 經由案例顯示，船舶之艙位應優先分配給邊際貢獻高之起迄港，透過壓縮邊際貢獻低的起迄港之接單量，集中艙位給高邊際貢獻之起迄對，以達到最大利潤；而另一方面，船公司面臨艙位超賣時，在滿足各航段艙位數量、載重上限以及冷凍櫃插座數等船舶限制下，低邊際成本之起迄港運送之重櫃先予以優先退關。
4. 由於顧客可能訂購運輸服務卻未出現，造成空艙位之損失，本研究以系統化之方式處理艙位超賣策略，降低空艙位與後續重櫃退關量等決策之風險，由研究中發現，當最低之顧客到達率發生機率越高時(顧客訂艙卻未出現之機率增加)，總利潤值將隨之減少。而若船公司能提高接單量之上限，如旺季或是利用行銷策略，則能對於總利潤有提升之效果；相較於不實行超賣策略，提高接單量上限對於實行超賣策略所能帶來之利潤提升則更為顯著。本研究提出加入艙位超賣要素於傳統艙位分配數學模型中，以案例顯示實行艙位超賣策略之成效，可供實務上運作參考。

5.2 建議

本研究提出以下三個方向供未來延伸探討：

1. 可將顧客之到達率改以連續隨機分布之方式，考量平均數及變異數處理。
2. 越接近船舶離港之時間，船公司越能判斷出顧客到達率之情形，若在離港前之某一適當時間點，船公司能判斷顧客到達率，則可藉以修正其艙位超賣策略，以進一步增加其利潤。
3. 可包含定期航運公司多條相關航線，並以網路之型態通盤考量。

參考文獻

1. Littlewood, K., "Forecasting and Control of Passenger Bookings", Proceedings of the AGIFORS Symposium, Vol. 12, The Airline Group of the International Federation of Operational Research Societies, 1972, pp. 95-117.
2. Littlewood, K., "Special Issue Papers: Forecasting and Control of Passenger Bookings", *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 4, No. 2, 2005, pp. 111-123.
3. McGill, J. I. and Van Ryzin, G. J., "Revenue Management: Research Overview and Prospects", *Transportation Science*, Vol. 33, No. 2, 1999, pp. 233-256.

4. Weatherford, L. R. and Bodily, S. E., "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing", *Operations Research*, Vol. 40, No. 5, 1992, pp. 831-844.
5. Kleywegt, A. J., "New Approaches for Contract Planning and Booking Control for Container Carriers", Presented at the Asia-Pacific First TLI-APNTNU Workshop on Multimodal Logistics, The Logistics Institute, 2002.
6. Lee, L. H., Chew, E. P., and Sim, M. S., "A Revenue Management Model for Sea Cargo", *International Journal of Operational Research*, Vol. 6, No. 2, 2009, pp. 195-222.
7. 丁士展, 「定期航運航線規劃與收益管理之研究」, 國立交通大學交通運輸研究所博士論文, 民國 92 年。
8. Ting, S. C. and Tzeng, G. H., "An Optimal Containership Slot Allocation for Liner Shipping Revenue Management", *Maritime Policy and Management*, Vol. 31, No. 3, 2004, pp. 199-211.
9. Feng, C. M. and Chang, C. H., "Optimal Slot Allocation in Intra-Asia Service for Liner Shipping Companies", *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 10, No. 3, 2008, pp. 295-309.
10. Wang, B. and Wang, Z., "Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-Carriage", *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 29-33.
11. Crainic, T., Gendreau, M., and Dejax, P., "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 102-126.
12. Cheung, R. K. and Chen, C. Y., "A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem", *Transportation Science*, Vol. 32, No. 2, 1998, pp. 142-162.
13. 陳淑芬, 「定期船運空櫃調度之研究—以越太平洋航線為例」, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文, 民國 91 年。
14. 許家璋, 「定期船運業艙位數量分配及空櫃調度問題之探討」, 國立東華大學全球運籌管理研究所碩士論文, 民國 95 年。
15. Ang, J. S. K., Cao, C. X., and Ye, H. Q., "Model and Algorithms for Multi-Period Sea Cargo Mix Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 180, No. 3, 2007, pp. 1381-1393.
16. Li, B., "A Stochastic Model for Dynamic Capacity Allocation of Container Shipping Two-Dimensional Revenue Management", International Conference on Service Systems and Service Management, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2008, pp. 1-7.
17. Rothstein, M., "OR and the Airline Overbooking Problem", *Operations Research*, Vol. 33, No. 2, 1985, pp. 237-248.
18. Bartodziej, P., Derigs, U., and Zils, M., "O&D Revenue Management in Cargo Airlines-A Mathematical Programming Approach", *OR Spectrum*, Vol. 29, No. 1, 2007, pp. 105-121.
19. Kasilingam, R. G., "Air Cargo Revenue Management: Characteristics and Complexities", *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, No. 1, 1997, pp. 36-44.

20. Popescu, A., Keskinocak, P., Johnson, E., LaDue, M., and Kasilingam, R. G., "Estimating Air-Cargo Overbooking Based on a Discrete Show-Up-Rate Distribution", *Interfaces*, Vol. 36, No. 3, 2006, pp. 248-258.
21. Phillips, R. L., *Pricing and Revenue Optimization*, Stanford University Press, Palo Alto, CA, 2005.
22. 李冰川，武振並與卜祥智，「能力隨機的海運集裝箱收益管理超訂模式」，西南交通大學學報，刊 41 卷，第 4 期，2006，頁 501-506。

附 錄

資料 A 重櫃運送價格 (美金)

起迄 櫃種	HAM				ROT				LEH			
	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	375	650	487	845	325	550	422	715	325	550	422	715
NIN	350	600	455	780	350	600	455	780	400	700	520	910
XIA	300	400	390	520	300	400	390	520	300	350	390	455

註：20D、40D、20R 及 40R 分別代表 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃

起迄 櫃種	SHA				NIN				XIA			
	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	487	845	633	1089	455	780	591	1014	390	520	507	676
ROT	422	715	548	929	455	780	591	1014	390	520	507	676
LEH	422	715	548	929	520	910	676	1183	390	455	507	591

資料 B 重櫃運送成本 (美金)

起迄 櫃種	HAM				ROT				LEH			
	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	93	162	121	211	81	137	105	178	81	137	105	178
NIN	87	150	113	195	87	150	113	195	100	175	130	227
XIA	75	100	97	130	75	100	97	130	75	87	97	113

起迄 櫃種	SHA				NIN				XIA			
	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	121	211	158	274	113	195	147	253	97	130	126	169
ROT	105	178	137	232	113	195	147	253	97	130	126	169
LEH	105	178	137	232	130	227	169	295	97	113	126	147

資料 C 重櫃退關成本 (美金)

起\迄	HAM				ROT				LEH			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	46	81	60	105	40	68	52	89	40	68	52	89
NIN	43	75	56	97	43	75	56	97	50	87	65	113
XIA	37	50	48	65	37	50	48	65	37	43	48	56

起\迄	SHA				NIN				XIA			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	60	105	79	137	56	97	73	126	48	65	63	84
ROT	52	89	68	116	56	97	73	126	48	65	63	84
LEH	52	89	68	116	65	113	84	147	48	56	63	73

資料 D 空櫃運送成本 (美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	20	22	30	32	34
NIN	46	-	20	28	30	32
XIA	42	40	-	26	28	30
HAM	34	32	30	-	20	22
ROT	32	30	28	44	-	20
LEH	30	28	26	42	44	-

20 呎乾櫃之空櫃運送成本(美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	30	32	40	42	44
NIN	56	-	30	38	40	42
XIA	52	50	-	36	38	40
HAM	44	42	40	-	30	32
ROT	42	40	38	54	-	30
LEH	40	38	36	52	54	-

40 呎乾櫃之空櫃運送成本(美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	25	27	35	37	39
NIN	51	-	25	33	35	37
XIA	47	45	-	31	33	35
HAM	39	37	35	-	25	27
ROT	37	35	33	49	-	25
LEH	35	33	31	57	49	-

20 呎冷凍櫃之空櫃運送成本 (美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	35	37	45	47	49
NIN	61	-	35	43	45	47
XIA	57	55	-	41	43	45
HAM	49	47	45	-	35	37
ROT	47	45	43	59	-	35
LEH	45	43	41	57	59	-

40 呎冷凍櫃之空櫃運送成本 (美金)