

定期航線貨櫃存量管理與空櫃調度之研究

Container Inventory and Repositioning Management for Liner Shipping Service Routes

丁士展 (Shih-Chan Ting)^{①*}、趙郭晉 (Kuo-Chin Chao)^②

摘要

定期航運面臨市場競爭激烈，運價調升空間不大，如何有效分配艙位與管理貨櫃資源，節省營運成本，為各航商所面臨的重要問題。然而航商攬貨常以最大化艙位利用率為目標，依據各靠港代理行攬貨能力分配艙位，業績表現亦多以艙位達成率來衡量，較少考量貨載之邊際貢獻與櫃流不平衡產生的空櫃滯留儲存費與調櫃成本。此外，航商不斷的擴大船隊、增加航線，以及投入大型貨櫃船到歐美等主要航線，造成艙位過剩、運價低迷，而亞洲新興國家製造業快速成長，大量的消費性貨品從亞洲港口輸出歐美國家，然而從歐美國家輸出到亞洲國家的貨量卻少很多，造成定期航運櫃流不平衡，航商必須從多櫃區調度空櫃到缺櫃區，維持空櫃在一定的存量，支援運務之需求，導致航商空櫃調度成本大幅增加。目前貨櫃調度作業多半仰賴專業人員之經驗判斷，較缺少系統化的程序作為調櫃決策依據，因此本研究參考櫃調相關文獻以及訪談公司櫃調人員，提出貨櫃存量與空櫃調度流程，引用存貨控制模式，推導櫃調前置時間、空櫃存量與再調櫃點；並應用線性規劃建立之櫃調模式求算最佳調櫃量，並以國內某航商之一條越太平洋美西航線作簡例進行數值分析。研究結果發現貨櫃調度前置時間為缺櫃港開始進行空櫃調度到空櫃調回到港的時間，是影響缺櫃港空櫃存量與再調櫃點最重

①* 通訊作者，國立臺灣海洋大學運輸科學系副教授；聯絡地址：基隆市 20224 中正區北寧路 2 號；電話：02-24622192 轉 7050；E-mail: ericting@mail.ntou.edu.tw。

② 國立臺灣海洋大學運輸科學系碩士；新竹物流股份有限公司主任；E-mail: hkhkhk98101@hotmail.com。

要的因素；貨櫃安全存量除了受貨櫃調度前置時間影響外，另外會受到貨運需求的不確定性，以及航商所期望的顧客服務水準影響。

關鍵字：定期航運、貨櫃運輸、空櫃調度、存貨模式、線性規劃

Abstract

As liner shipping companies have been facing fierce market competition, freight rate increase is hard to achieve and most liner companies cannot make reasonable profits. Additionally, most liner shipping companies have been increasing their fleet and service routes, and they deploy large-size containerships to Asia/Europe and Asia/America routes. These approaches resulted in over-capacity, low capacity utilization and low freight rate. Moreover, the number of shipments from Asian ports to Europe and America far outnumbered the shipments from Europe and America to Asia. These trade imbalances resulted in container flow imbalances. Consequently, liner shipping companies have to spend substantial costs in repositioning empty containers between excess container zones and demanding container zones and to maintain safety stock empty containers to support the needs of customer services for those empty zones. This research formulates an empty container inventory control model to derive container repositioning lead time, safe stock and repositioning point. Additionally, linear programming is utilized to formulate an optimal empty container repositioning model to minimize repositioning costs. A numerical case study of a transpacific service route is implemented to verify the feasibility of the proposed models. The results show that the key factors influencing empty container inventory and repositioning points are repositioning lead time, uncertainties of shipment demand and service level of liner shipping companies.

Keywords: Liner shipping, Container transport, Empty container repositioning, Inventory model, Linear programming

壹、前言

定期航運航商不斷的擴大船隊、增加航線，以及投入大型貨櫃船到歐美等主要航線，造成艙位過剩、運價低迷，而亞洲新興國家製造業快速成長，大量的消費性貨品從亞洲港口輸出歐美國家，然而從歐美國家輸出到亞洲國家的貨量卻少很多，造成定期航運櫃流不平衡，航商必須從多櫃區調度空櫃到缺櫃區，維持空櫃在一定的存量，支援運務之需求，導致航商空櫃調度成本大幅增加。馬開平(1995)提到國際貿易的不平衡，由於各地區經濟發展不同與國際分工的趨勢，然重櫃係因貨物的需求而移動，由於各地區對貨櫃型式、規格等需求不一，導致重櫃進出口流動量在空間上產生分佈不均的現象，如遠東地區出口多、進口少；歐美地區則出口少、進口多，進而產生櫃流不平衡之現象；航商若無法適當的調節貨櫃，則會發生貨櫃囤積於入超區域，使貨櫃閒置，徒增存置成本，而出超區域則面臨無空櫃可用的情況。

關於空櫃調度相關研究，Qiang(1994)將調度模式分為兩步驟：第一步以內陸循環時間為主，計算港口每個時期可自行產生的空櫃量，則可看出何為缺櫃港與多櫃港；第二步驟再針對前者的結果以最小成本的方式平衡各港的空櫃量。陳淑芬(2002)以兩階段數學模式研究定期船運公

司，在某特定航線上對於空櫃的管理調度過程。第一階段先計算各港口在各航次的多缺櫃量，依地理位置來劃分區域。第二階段建立線性規劃模式，以最小成本(裝卸、儲置、租櫃等成本)為目標，求解最佳調配空櫃量，以滿足顧客空櫃量需求且考量在陸循環時間與存量限制。Li et al.(2007)提出(U, D)模型：U表示某港口空櫃存貨之上限，D則表示某港口空櫃存貨之下限，若某港口空櫃存貨高於U或小於D則進行調度，以增加或減少空櫃量。Shintani et al.(2007)在考慮空櫃調度下設計航線網路，建構數學模式並利用基因演算法(Genetic Algorithm, GA)求解。Feng and Chang(2008)、張嘉惠(2009)以存貨水準與再訂購點概念，分析港口空櫃存量水準與成本，訂定存貨水準，若高於此水準則為多櫃港，低於此水準則為缺櫃港，推導出預期空櫃存貨成本。Song and Carter(2009)利用數學規劃評估不同空櫃調度策略，比較這些櫃調策略應用在東西向三大航線在減少櫃調成本上之績效表現，並找出影響空櫃移動的重要因素。Moon et al.(2010)為減少港口間空櫃的不平衡，並減少租櫃與購買貨櫃的成本，建構櫃調數學模式。Meng and Wang(2011)結合空櫃調度以及考量輻軸式(Hub-and-Spoke)與多重靠港營運設計定期航運航線網路。Song and Dong(2011)考量彈性靠港建構櫃調模式，並利用模擬評估模式可行性。Moon

et al. (2013) 建構數學模式比較標準貨櫃與可折疊貨櫃間的使用，以減少空櫃調度。Moon and Hong (2016) 提出共同使用可折疊式貨櫃與一般標準貨櫃可以節省空櫃運輸與儲存成本。Zhang et al. (2016) 提出兩階段最佳化方法 (Two-stage Optimization Method)，第一階段考量空櫃調度進行航線網路設計，第二階段考量在不同港口櫃租的差異，讓櫃調與租櫃成本最小化。Wang et al. (2017) 建構網路流量模式分析在同時考量空櫃調度與使用可折疊式貨櫃下船型之決策。Hjortnaes et al. (2017) 分

析在離岸空櫃場、港口碼頭、內陸櫃場之間的空櫃調度網路櫃流狀況。Wu et al. (2019) 整合空櫃調度並考量貨櫃生命階段 (Container Life Stages)，應用混合整數線性規劃 (Mixed-integer Linear Programming) 進行航線網路設計。

目前貨櫃調度作業多半仰賴專業人員之經驗判斷，較缺少系統化的程序作為調櫃決策依據，因此本研究參考櫃調相關文獻以及訪談公司櫃調人員，提出貨櫃存量與空櫃調度流程，如圖 1，首先預測航線各停靠港之進出口櫃量，櫃調人員可以利

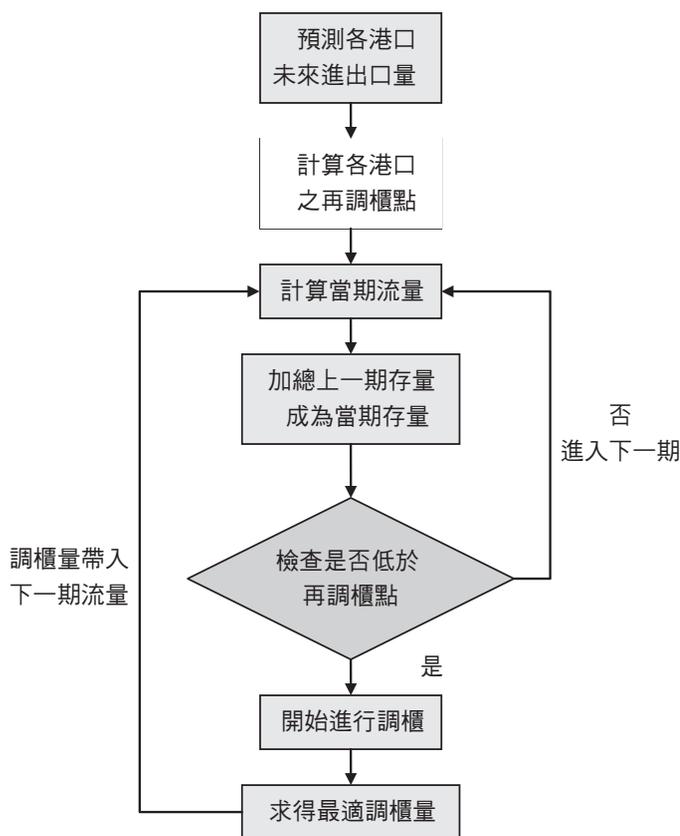


圖 1 貨櫃存量與空櫃調度流程

用時間序列分析預測櫃量需求較為精準，作為後續櫃調作業的輸入資料，再據以計算各港口之空櫃存量與再調櫃點，求得當期貨櫃流入量，加總上期留存空櫃量成為當期存量，若存量高於再調櫃點，則不須進行空櫃調度；如果低於再調櫃點，則開始進行空櫃調度，應用線性規劃建立之櫃調模式求算各港的最佳調櫃量，然後將此調櫃量加入下一期流量。

本文接續第二節與第三節分別說明本研究推導的貨櫃存量管制模式與空櫃調度模式；第四節以國內某航商之一條越太平洋美西航線作簡例進行數值分析；第五節闡述本研究之結論與建議。

貳、貨櫃存量管制模式

本研究在考量單一航線的營運下，預測其每一靠港之乾式貨櫃 (Dry Cargo Container) 與冷凍貨櫃 (Reefer Container)

運量需求，並藉由需求變異性與客戶服務水準的要求，推導其安全存量與再調櫃點，建立貨櫃存量管制模式。

2.1 貨櫃調度前置時間

本研究嘗試從各港口間之櫃流情形來定義空櫃供需的角色，而非傳統模式中航商為空櫃供應端須滿足顧客的需求，文獻提及遠東與北美間存在嚴重櫃流不平衡之問題，通常亞洲港口多為缺櫃港，反之美洲則是供過於求鮮少有缺櫃情形發生，航商須從美洲調回空櫃以支援亞洲港口貨物出口需求，因此我們將航線內亞洲各港 (缺櫃區) 視為空櫃需求端，美洲各港 (多櫃區) 則為供應端。

檢視整體貨櫃運送流程，如圖 2，其中貨櫃從美洲區到亞洲區的總作業時間，包含區域間的海上運送時間、各區內的貨物裝卸時間，與各區貨主拆空還櫃時間共五部分。考量多櫃區港口已有空櫃大量累積在櫃場等待調度或是供託運人使用，託

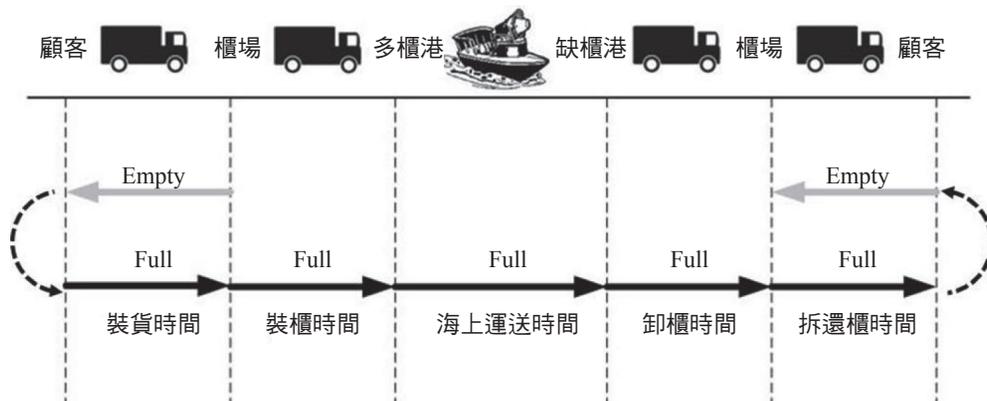


圖 2 空櫃回流與重櫃運送流程

運人一般會在船到達之前將重櫃送至貨櫃場等待裝船，因此本研究不將多櫃區港口之提還櫃時間列入貨櫃調度前置時間計算，只計算多櫃港之裝櫃等待時間與缺櫃港之卸櫃等待時間。

航商會訂定免費期 (Free Days) 以限制顧客拆還櫃的時間，若顧客超過免費期才歸還貨櫃就必須付出額外的留置費 (Detention)，然而這種狀況較少，因此本研究將拆還櫃時間設定為航商所給定的免費天數，將航商從多櫃港 i 至缺櫃港 j 之空櫃調度前置時間 (見圖 3) 定義如下：

$$LT_{ij} = WL_i + TT_{ij} + WD_j + FT_j \quad (1)$$

LT_{ij} : 多櫃港 i 到缺櫃港 j 空櫃調度前置時間，

WL_i : 多櫃港 i 之裝櫃等待時間，

TT_{ij} : 多櫃港 i 到缺櫃港 j 海上運送時間，

WD_j : 缺櫃港 j 之卸櫃等待時間，

FT_j : 缺櫃港 j 顧客進口貨櫃提還櫃之免費天數。

2.2 貨櫃安全存量與再調櫃點

貨櫃安全存量的適當水準由下列兩項因素決定：(1) 貨運需求的不確定性，以需求的標準差衡量；(2) 航商所期望的顧客服務水準 (Customer Service Level, CSL；例如 $CSL = 90\%$ 代表會有 10% 的缺櫃機率)。

本研究參考 Simchi-Levi et al. (2008) 之存貨模式，假設需求符合常態分配，且已知航商的週期服務水準，導入前述之空櫃調度前置時間 LT_{ij} ，推導缺櫃港 j 之貨櫃安全存量 (Empty Container Safety Stock, ECSS) 與再調櫃點 (Reposition Order Point, ROP) 如下：

$$ECSS_j = NORMSINV(CSL) \times \sigma_D \times \sqrt{L_j} \quad (2)$$

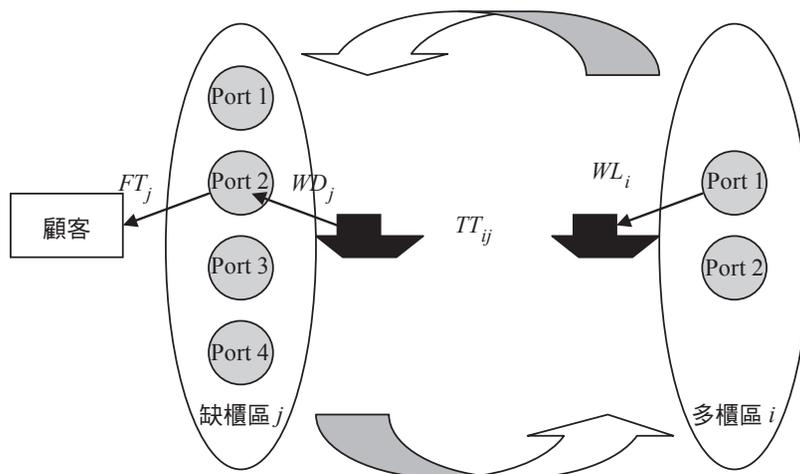


圖 3 多櫃港 i 至缺櫃港 j 之空櫃調度前置時間示意圖

$$ROP_j = AVGD_j \times L_j + ECSS_j \quad (3)$$

$NORMSINV(CSL)$ ：標準常態累加函數之反函數(例 $NORMSINV(90\%) = 1.28155..$)，

σ_D ：運量需求標準差，

$L_j = \sum_{i=1}^m L_{ij} \div m$ ：缺櫃港 j 平均空櫃調度前置時間，

$AVGD_j$ ：缺櫃港 j 運量需求平均值。

參、空櫃調度模式

櫃流的不平衡，貨櫃累積於多櫃港不易回流，航商必須進行空櫃調度，航商如何在最小成本下達到調櫃的需求是本研究探討的另一項研究主題。本研究先考量需求面以進行貨櫃調度作業，統計各港口櫃場持有之空櫃量，參考進出口櫃量報表以估計近期貨主提領空櫃需求，再進行貨櫃調度決策。

透過每週進出口櫃量與空櫃存量變化的疊代計算後發現，空櫃不斷累積於美洲各港口，亞洲各港的空櫃存量則快速減少；因此將美洲劃分為多櫃港，亞洲則為缺櫃港，其中，流量計算為每期重櫃進口(自然回補量)加上空櫃調入量，減去重櫃出口與空櫃調出量，空櫃存量則為每期初始存量與每期流量之總和如圖 4 所示。空櫃調度模式假設：(1) 前置時間沒有延

滯；(2) 只考慮乾式貨櫃與冷凍貨櫃；(3) 只考慮裝卸櫃成本與貨櫃存置成本；(4) 只考慮區域間空櫃的調度；(5) 單一航線船舶容量相同；(6) 不考慮貨櫃毀損維修或無法使用之狀況。

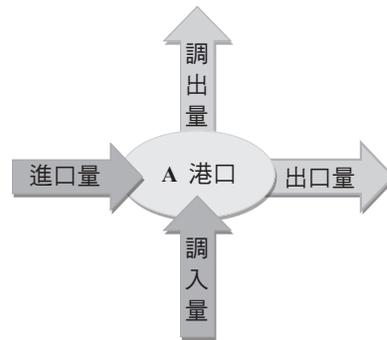


圖 4 單一港口櫃流示意圖

3.1 符號說明

1. 決策變數

X_{ij}^t ：多櫃港 i 運到缺櫃港 j ，第 t 期乾式空櫃調度量，

Y_{ij}^t ：多櫃港 i 運到缺櫃港 j ，第 t 期冷凍空櫃調度量，

$i \in I \{1, 2, 3, \dots, m\}$ 多櫃港集合，

$j \in J \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 缺櫃港集合，

P ：多櫃港 i 循序停靠後續多櫃港之集合。

2. 參數

C_{ij} ：多櫃港 i 運到缺櫃港 j ，調度每一單位 20 呎標準貨櫃 (Twenty-foot Equivalent Unit, TEU) 所產生的成本，包含多櫃港 i 裝櫃成本 HC_i 、缺櫃

港 j 卸櫃成本 HC_j 、多櫃港 i 貨櫃存置成本 SC_i 與缺櫃港 j 貨櫃存置成本 SC_j ，

D_j^{t+4} ：第 $t+4$ 期缺櫃港 j 之乾式貨櫃缺櫃量，為該期進口乾式櫃量扣掉出口乾式櫃量（該航線 Round Trip 56 天，單程 28 天，計 4 週，一週為一期），

d_j^{t+4} ：第 $t+4$ 期缺櫃港 j 之冷凍貨櫃缺櫃量，為該期進口冷凍櫃量扣掉出口冷凍櫃量，

S_i^t ：第 t 期多櫃港 i 之乾式貨櫃存量，

s_i^t ：第 t 期多櫃港 i 之冷凍貨櫃存量，

U_i^t ：第 t 期多櫃港 i 之乾式貨櫃存量下限，

u_i^t ：第 t 期多櫃港 i 之冷凍貨櫃存量下限，

L_{ij}^t ：第 t 期多櫃港 i 運到缺櫃港 j 乾式重櫃總數，

R_{ij}^t ：第 t 期多櫃港 i 運到缺櫃港 j 冷凍重櫃總數，

l_{ji}^t ：第 t 期缺櫃港 j 運到多櫃港 i 乾式重櫃總數，

r_{ji}^t ：第 t 期缺櫃港 j 運到多櫃港 i 冷凍重櫃總數，

K ：船舶艙位總數 (TEU)。

3.2 空櫃調度模式

目標函數：櫃調成本最小化。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \text{Repositioning Cost} \\ & = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} (X_{ij}^t + Y_{ij}^t) \end{aligned} \quad (4)$$

限制式：

(1) 缺櫃港之乾式貨櫃與冷凍貨櫃需求量須被滿足：式 (5)、(6) 表示各類空櫃之調櫃量須滿足缺櫃港之需求。

$$\sum_{i=1}^m X_{ij}^t = D_j^{t+4}, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m Y_{ij}^t = d_j^{t+4}, \forall j \in J \quad (6)$$

(2) 多櫃港乾式貨櫃與冷凍貨櫃空櫃之供給量限制：式 (7)、(8) 表示各類貨櫃之調櫃量受限於多櫃港的存櫃下限。

$$\sum_{j=1}^n X_{ij}^t \leq S_i^t - U_i^t, \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij}^t \leq s_i^t - u_i^t, \forall i \in I \quad (8)$$

(3) 船舶容量限制：式 (9) 表示多櫃港航段內之剩餘艙位限制，對於每一多櫃港運出空櫃總數受限於航行後續港口之剩餘艙位；式 (10) 表示船舶總艙位容量限制，多櫃港至缺櫃港的櫃量總合受限於船舶總艙位數。

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij}^t + Y_{ij}^t) \leq K - \sum_{j=1, i \in P}^n (l_{ji}^t + r_{ji}^t) + \sum_{j=1}^n (l_{ji}^t + r_{ji}^t),$$

$$\forall i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij}^t + Y_{ij}^t) \leq K - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (L_{ij}^t + R_{ij}^t) \quad (10)$$

(4) 決策變數非負與整數限制：

$$X_{ij}^t, Y_{ij}^t \geq 0, X_{ij}^t, Y_{ij}^t \in \text{Integer} \quad (11)$$

肆、單一航線簡例數值分析

本研究以國內某航商之一條越太平洋美西航線（見圖 5）作簡例數值分析，由於無法取得航商之實際營運數值資料，本研究遂以假設之港口進出口櫃量、成本資料以及 5,500TEU 船舶容量進行數值分析，資料詳見附錄。

該航線亞洲地區停泊香港 (Hong Kong)、鹽田 (Yantian)、高雄 (Kaohsiung)、釜山 (Pusan)，航行越太平洋抵達北美洲西部，美西地區停靠美國的塔科瑪 (Tacoma)、加拿大的溫哥華 (Vancouver)。此航線簡例之多櫃港 $i=1$ (Tacoma)、 $i=2$ (Vancouver)；缺櫃港 $j=1$ (Pusan)、 $j=2$ (Hong Kong)、 $j=3$ (Yantian)、 $j=4$ (Kaohsiung)。

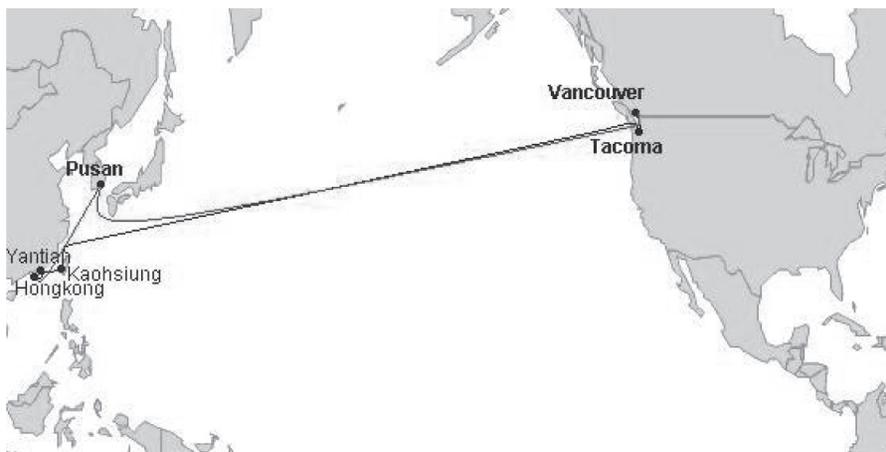


圖 5 簡例分析：越太平洋美西航線

4.1 貨櫃調度前置時間

假設多櫃港之裝櫃等待時間皆為 24 hour，多櫃港到缺櫃港運送時間如表 1，亞洲與美洲港口平均提還櫃免費期如表 2，據以計算出多櫃港 i 到缺櫃港 j 空櫃調度前置時間 LT_{ij} 如表 3。

表 1 多櫃港到缺櫃港運送時間 (單位：hour)

TT_{ij}	塔科瑪	溫哥華
釜山	360	288
香港	432	360
鹽田	456	384
高雄	504	432

表 2 亞洲與美洲港口平均提還櫃免費期

(單位：hour)

FT	亞洲港口	美洲港口
提櫃免費期	72	168
還櫃免費期	120	146

表 3 多櫃港 i 到缺櫃港 j 空櫃調度前置時間
(單位：day)

LT_{ij}	塔科瑪	溫哥華
釜山	22	19
香港	25	22
鹽田	26	23
高雄	28	25

4.2 貨櫃安全存量與再調櫃點

利用航線各港長期統計每週之貨運需求資料，計算缺櫃區港口平均需求與需求標準差，導入上述計算所得之多櫃港到缺櫃港空櫃調度前置時間，假設航商期待的服務水準 (CSL) 為 95%，求得缺櫃港之

乾式貨櫃和冷凍貨櫃的安全存量與再調櫃點，如表 4。

4.3 空櫃調度

檢測港口運量需求資料與 ROP 點，缺櫃港空櫃存量低於 ROP 點的期數如下表 5。只要缺櫃港存量低於 ROP 點，便須進行區域間空櫃調度，以滿足各缺櫃港空櫃需求，反之需求為 0。由 $t=40$ 開始從多櫃港調出空櫃，而空櫃 4 期後才會送達缺櫃港，因此我們經由疊代過程求得 4 期後 ($t=44$) 各缺櫃港的缺櫃量，並帶入資料於空櫃調度模式進行空櫃調度規劃。

表 4 缺櫃港口貨櫃的安全存量與再調櫃點 (單位：TEU)

港口 / 櫃種	安全存量 (ECSS)	再調櫃點 (ROP)
釜山 / 乾式貨櫃	189	2,254
釜山 / 冷凍貨櫃	4	48
香港 / 乾式貨櫃	164	2,363
香港 / 冷凍貨櫃	4	50
鹽田 / 乾式貨櫃	228	2,244
鹽田 / 冷凍貨櫃	5	48
高雄 / 乾式貨櫃	241	2,062
高雄 / 冷凍貨櫃	5	41

表 5 缺櫃港存量低於 ROP 期數

缺櫃港口	釜山	香港	鹽田	高雄
乾式貨櫃 ROP 期數	40	40	40	41
冷凍貨櫃 ROP 期數	41	41	42	43

表 6 缺櫃港之缺櫃量

(單位：TEU)

$t = 44$	釜山	香港	鹽田	高雄
乾式貨櫃	239	389	87	0
冷凍貨櫃	0	0	0	0

經模式求解第 40 期到 44 期各港空櫃調度狀況如下表 7 與表 8 所示，總貨櫃調度成本如表 9。

櫃點，若存量低於再調櫃點時進行空櫃調度，並可藉由櫃調模式求算最佳調櫃量，輔助調櫃決策。本研究最後歸納以下數點結論與建議：

伍、結論與建議

本研究引用存貨控制模式，推導櫃調前置時間、空櫃安全存量與再調櫃點；並應用線性規劃建立櫃調模式求算最佳調櫃量，對負責櫃調人員而言，較易理解且容易上手，僅需輸入過去數期運量資料，便可以得到缺櫃港的空櫃安全存量與再調

5.1 結論

1. 貨櫃調度前置時間為缺櫃港開始進行空櫃調度到空櫃調回到港的時間，亦即空櫃回流可以再被使用的時間，是影響缺櫃港空櫃存量與再調櫃點最重要的因素。
2. 貨櫃安全存量除了受貨櫃調度前置時間影響外，另外會受到貨運需求的不確定

表 7 乾式貨櫃未來 5 期空櫃調度量 (單位：TEU)

$t \backslash X_{ij}$	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
40	114	0	43	0	125	389	44	0
41	278	0	285	51	289	564	285	51
42	254	0	254	221	294	546	297	230
43	250	0	242	222	305	566	302	231
44	556	72	539	412	0	500	0	0

表 8 冷凍貨櫃未來 5 期空櫃調度量 (單位：TEU)

$t \backslash Y_{ij}$	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	3	0	0
42	2	0	8	0	9	12	0	0
43	2	0	0	0	9	12	11	0
44	2	0	0	5	9	12	11	4

表 9 未來 5 期總貨櫃調度成本 (單位：USD)

t	40	41	42	43	44
Total Cost	1,811,400	4,592,100	5,463,600	5,527,200	5,445,900

性，以及航商所期望的顧客服務水準影響。

3. 空櫃調度模式中之船舶裝載容量限制，雖然冷凍重櫃有插座數量限制，但在裝載時冷凍空櫃、乾式重櫃與乾式空櫃可以交換使用船舶艙位，因此本研究將冷凍貨櫃與乾式貨櫃同時計算求解。
4. 本研究以港口裝卸成本與空櫃存置成本加總作為調櫃成本，排除海上運送成本，較能符合實際發生的調櫃成本。

5.2 建議

1. 空櫃存量與再調櫃點是空櫃管理最重要的決策，如同存貨管控，必須考慮補貨前置時間、需求不確定與服務水準。
2. 本研究未將貨櫃在內陸循環時間列入考慮，未來研究可以探討貨主還櫃時間點與還櫃櫃場之變異性，亦即還回之空櫃無法全部於當期作為空櫃使用時對於調櫃量之影響。
3. 本研究未考慮租賃空櫃，未來於模式中可以考虑加入空櫃租賃，使其成為一個空櫃來源之選擇，得以應付貨運需求之變異，避免缺櫃失去客戶信賴。
4. 本研究因無法取得各類貨櫃的櫃調成本，均假設為相同成本，未考慮 20 呎與 40 呎貨櫃調度（含乾櫃與冷凍櫃）成本的差異性，建議未來研究可以加入不同櫃種的櫃調成本。

參考文獻

馬開平，1995，隨機性動態貨櫃調度問題之研究，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，臺南市。

陳淑芬，2002，定期船運之空櫃調度——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，新竹市。

張嘉惠，2009，近洋貨櫃航商艙位配置及空櫃調度之最適化研究，國立交通大學交通運輸研究所博士論文，臺北市。

Feng, C.M. and Chang, C.H., 2008. Empty container reposition planning for intra-Asia liner shipping. *Maritime Policy & Management*, 35(5), 469-489.

Hjortnaes, T., Wiegman, B., Negenborn, R., Zuidwijk, R.A. and Klijnhout, R., 2017. Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account. *Journal of Transport Geography*, 58, 209-219.

Li, J.A., Leung, S.C.H., Wu, Y. and Liu, K., 2007. Allocation of empty containers between multi-ports. *European Journal of Operational Research*, 182(1), 400-412.

Meng, Q. and Wang, S., 2011. Liner shipping service network design with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 47 (5), 695-708.

- Moon, I.K. and Hong, H., 2016. Repositioning of empty containers using both standard and foldable containers. *Maritime Economics & Logistics*, 18 (1), 61-77.
- Moon, I.K., Do Ngoc, A.D. and Hur, Y.S., 2010. Positioning empty container among multiple ports with leasing and purchasing consideration. *OR Spectrum*, 32(3), 765-786.
- Moon, I.K., Do Ngoc, A.D. and Konings, R., 2013. Foldable and standard containers in empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 49(1), 107-124.
- Qiang, G., 1994. An operational approach for container control in liner shipping. *Logistics and Transportation Review*, 30(3), 267-282.
- Shintani, K., Imai, A. and Nishimura, E., 2007. The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 43(1), 39-59.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E., 2008. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*, 3rd Edition, McGraw-Hill: New York.
- Song, D.P. and Carter, J., 2009. Empty container repositioning in liner shipping. *Maritime Policy & Management*, 36(4), 291-307.
- Song, D.P. and Dong, J.X., 2011. Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports. *Transport Policy*, 18(1), 92-101.
- Wang, K., Wang, S., Zhen, L. and Que, X., 2017. Ship type decision considering empty container repositioning and foldable containers. *Transportation Research Part E*, 108, 97-121.
- Wu, S.H., Sun, Y., Lian, F. and Yang, Z.Z., 2019. Reposition of empty containers of different life stages integrated with liner shipping network design. *Maritime Policy & Management*, DOI: 10.1080/03088839.2019.1657973.
- Zheng, J., Sun, Z. and Zhang, F., 2016. Measuring the perceived container leasing prices in liner shipping network design with empty container repositioning. *Transportation Research Part E*, 94, 123-140.

附錄

港口空櫃需求量

(單位：TEU)

	20'DC	20'RF	40'DC	40'RF
高雄	70	50	16	16
香港	60	50	20	16
釜山	40	30	16	12
鹽田	50	26	14	12

港口可調度櫃量

(單位：TEU)

	20'DC	20'RF	40'DC	40'RF
塔科馬	250	150	30	50
溫哥華	50	150	50	50

空櫃調度費

(單位：USD)

貨櫃種類	港口	高雄	香港	釜山	鹽田
20'DC	塔科馬	135	135	340	155
20'DC	溫哥華	85	185	105	195
20'RF	塔科馬	150	230	335	385
20'RF	溫哥華	115	195	240	215
40'DC	塔科馬	185	150	285	285
40'DC	溫哥華	185	290	295	300
40'RF	塔科馬	310	315	385	455
40'RF	溫哥華	245	400	285	450

航線邊際貢獻

(單位：USD)

貨櫃種類	港口	高雄	香港	釜山	鹽田
20'DC	塔科馬	680	680	830	700
20'DC	溫哥華	630	730	650	740
20'RF	塔科馬	870	280	450	500
20'RF	溫哥華	210	310	300	330
40'DC	塔科馬	830	780	930	930
40'DC	溫哥華	830	930	940	880
40'RF	塔科馬	1200	1260	1330	1400
40'RF	溫哥華	1180	1290	1230	1390