

船公司空櫃調度模式之研究

A MODEL FOR SOLVING THE EMPTY-CONTAINER ALLOCATION PROBLEM

周建張

國立台灣海洋大學運輸與航海科學系
國立高雄海洋科技大學航運技術系

Chien-Chang Chou

*Department of Transportation and Navigation Science
National Taiwan Ocean University
Department of Shipping Technology
National Kaohsiung Marinen University*

摘 要

本文係以船公司之空櫃調度問題為研究對象，利用數學規劃方法建構空櫃調度模式。過去相關研究在建構空櫃調度模式時，將貨櫃的規格（20 呎、40 呎）、權屬（自有櫃、租賃櫃）、東／西雙向航程的空櫃供需、進口廠商還櫃、空櫃卸點選擇性等五項因素納入模式中加以考量。而本文在建構空櫃調度模式時，除了將上述五項因素納入模式中加以考量之外，亦將各港口空櫃安全存量、以及港口空櫃最大存量等二項因素納入模式中加以考量。最後以國內某船公司的空櫃調度實例對本文模式進行測試，經敏感度分析結果發現：(1)船公司在各港口的最佳的空櫃安全存量是 95 個，因此建議船公司可將目前各港口空櫃安全存量上限提高至 95 個，將有助於降低船公司的空櫃調度總成本。(2)調整空櫃的每日租金對船公司的空櫃調度總成本影響頗大。顯示本文模式有助於船公司實際空櫃調度作業成本控制之參考。

關鍵詞：空櫃調度問題、貨櫃化運輸、數學規劃

ABSTRACT

This paper makes an attempt to formulate a model for solving the empty-container allocation problem in the shipping company by the mathematic programming method. Those models proposed in the past papers took five characteristics into account, including the container size (20', 40'), the ownership (owned, leased), the supply and demand of empty-container (both eastbound voyage and westbound voyage), the returned empty-container from importers, the option to discharging port of empty-containers. This model proposed in this paper takes seven characteristics into account, including the above-mentioned five characteristics, the empty-container safety inventory and the maximum inventory at each port. Finally this model is tested by a case and the sensitivity test results show that (1) the optimal empty-container volume in each port is 95 containers. Thus this paper suggests the shipping companies should increase the empty-container volume in every port to reduce the total container allocation costs. (2) The empty- container rent charge for every day is an influential factor for the total container allocation costs. The results show that the empty-container allocation model proposed in this paper could be a reference for carriers to save the operation costs in the actual empty-container allocation.

Key Words : empty-container allocation problem, containerization, mathematic programming

壹、前言

貨櫃化運輸 (Containerization) 是目前國際貿易貨物主要運送方式, 由於全球貿易失衡程度加劇, 導致貨櫃運輸系統中空櫃調度作業更加困難, 因此, 空櫃調度問題是目前全球海運公司定期貨櫃系統中重要的議題。1989 年以來有關貨櫃運輸的分析報告中也指出此問題嚴重性, 並預測由於儲存與運輸大量空櫃, 船公司必需花費龐大的成本。根據國際貨櫃化統計年鑒 (Containerization Yearbook, 1995) 之估計, 目前每年全球運輸空櫃所發生之成本已超過 250 億美元, 若此空櫃調度問題無法改善, 按目前之趨勢至 2010 年時, 全球運輸空櫃之成本將超過 500 億美元。此外, 為了容納這些空櫃所帶來額外內陸儲存費用與碼頭設施費用, 將高達數十億美元, 並耗費許多港口鄰近地區寸土寸金的寶貴土地資源。因此, 如何有效解決空櫃調度問題是一個值得深入探討的議題。

過去國內外相關的研究文獻包括，White (1972) 建構一空櫃調度模式，其模式假設所有灣靠港口、空櫃需求、船期、運輸成本皆事前已知，且只考慮空櫃在空間上的調動，其模式比較簡化。Florez (1986) 建構單一航線的空櫃調度模式，以空櫃調度成本最小化為目標函數，該模式中只考慮空櫃是單一規格的空櫃、貨櫃權屬（自有櫃 / 租賃櫃）、單一型式的船舶等因素，以該航線上各港的空櫃調度數量與租櫃數量，為模式的輸出結果。陳春益與陳昭吟 (1993) 就遠東 / 美西、遠東 / 美東、遠東 / 歐洲等三大航線洲際間定期貨櫃調度問題為研究對象，利用時空網路 (Time-space Network) (Aronson, 1989)，協助描述定期貨櫃航線之貨櫃調度問題，並據以建構一個確定性貨櫃調度巨觀模式（亦即各航線僅以一個起港與一個迄港表示）。該模式以船公司空櫃調度成本最小化為目標函數，考慮重櫃與空櫃、貨櫃規格（20 呎 / 40 呎）、貨櫃權屬（自有櫃 / 租賃櫃）、進口商還櫃等因素，假設各航次貨櫃需求事前已知，亦即在資訊充分下作調度，因此，航商不需保留多餘的空櫃以備不時之需，以洲際間的空櫃調度數量為模式的輸出結果。該文研究發現，惟在實務上資訊未必充分，因此若能將不確定性的空櫃需求納入模式中加以考慮，則能提高模式的實用性。陳春益與余秀梅 (1994) 就遠東 / 美西、遠東 / 美東、遠東 / 歐洲等三航線的空櫃調度問題為研究對象，建構一個確定性空櫃調度微觀模式（亦即各航線均包含多個起港與多個迄港）。該模式以船公司空櫃調度成本最小化為目標函數，考慮重櫃與空櫃、貨櫃規格（20 呎 / 40 呎）、貨櫃權屬（自有櫃 / 租賃櫃）、進口商還櫃、東 / 西雙向航程的空櫃供需等因素，而模式輸出結果是各港口的空櫃調度數量、租櫃數量。該文研究發現，區域內近洋航線空櫃調度影響遠洋航線空櫃調度頗鉅，因此在模式中若能同時考慮近洋航線與遠洋航線的空櫃調度作業，則能提高模式的實用性。陳春益與趙時樑 (1995)、Chen (1995) 將貨櫃調度模式提昇為以圖形顯示之空間決策支援系統。陳春益與張永昌 (1997) 探討選擇定期貨櫃航線泊靠港之問題，結果發現遠洋與近洋貨櫃調度問題在性質上略有不同，例如遠洋貨櫃調度問題需考慮如何藉助副航線、或是集貨服務 (Feeder Service) 將貨櫃轉運至遠洋定期貨櫃航線不灣靠之港口 (Side ports)。而近洋航線貨櫃調度問題則需考量其具有航線分布如網狀、航期密、以及航程短等特性。Cheung and Chen (1998) 建構一個兩階段的隨機動態空櫃調度模式，該模式中考慮重櫃與空櫃、貨櫃規格（20 呎 / 40 呎）、貨櫃權屬（自有櫃 / 租賃櫃）、進口商還櫃、東 / 西雙向航程的空櫃供需、空櫃需求隨機性、空櫃卸點自由選擇性等因素，以空櫃調度成本最小化為目標函數，而模式輸出結果是各港口的空櫃調度數量、租櫃數量。經數值測試結果顯示，隨機性的空櫃調度模式比確定性的空櫃調度模式有較高的實用性。陳春益與馬開平 (1999) 就東南亞 / 東北亞近洋航線的空櫃調度問題為研究對象，建構一個確定性的近洋空櫃調度模式，該模式以空櫃調度成本最小化為目標函數，考慮重櫃與空櫃、貨櫃規格（20 呎 / 40 呎）、貨櫃權屬（自有櫃 / 租賃櫃）、進口商還櫃、東 / 西雙向航程空櫃供需等因素，而模式的輸出結果是各港口的空櫃調度數量與空櫃租

櫃量。該文研究發現，未來在模式中若能納入下列二項因素，則可提高模式的實用性：(1)「預防性」的空櫃安全存量：在實務作業上，船公司所面對的空櫃需求具有相當的不確定性，因此調度人員對於有可能發生的空櫃需求均需加以考慮。但確定性的貨櫃調度模式假設所有港口的空櫃需求情況事前均已確定，而將「預防性」的調度完全排除，故確定性的模式輸出結果所需調度的空櫃數量較船公司實際調度的空櫃數量少；(2)各港口空櫃最大存量：由於各港口空櫃存置成本差異頗大，如香港的空櫃存置成本遠比高雄港昂貴，因此船公司會儘量將香港多餘的空櫃自香港移至高雄，可減少空櫃在香港的存置成本。

因此，本文所建構的空櫃調度模式除了考慮重櫃與空櫃、貨櫃規格(20呎/40呎)、貨櫃權屬(自有櫃/租賃櫃)、進口商還櫃、東/西雙向航程的空櫃供需、空櫃卸點自由選擇性等因素之外，並納入各港口「預防性」的空櫃安全存量、港口空櫃最大存量等二項因素，以港口「預防性」空櫃安全存量、預估進口商會歸還的空櫃量、再加上預計的空櫃租櫃數量三者數量之和，來因應各港口不確定的空櫃需求量，希望能夠提高模式在空櫃調度實務上的實用性，以作為船公司空櫃調度人員在從事貨櫃調度作業時的一個輔助工具，此為本文之研究動機。

本文計分四節，第壹節說明研究動機；第貳節則是空櫃調度模式之建構；第參節以遠東/美西航線資料進行實證研究；第肆節提出結論與建議。

貳、空櫃調度模式之建構

本節旨在建構空櫃調度模式，在建構模式之前先說明船公司空櫃調度問題特性如第一節；另第二節則根據這些特性來建構空櫃調度模式。

一、空櫃調度問題特性

陳春益與陳昭吟(1993)、陳春益與余秀梅(1994)經研究分析後，將空櫃調度問題特性歸納成下列4項：船公司追求空櫃調度總成本最小化、貨櫃規格多樣化、東/西雙向航程的空櫃供需、進口商還櫃與貨櫃在陸循環時間不一等5項。Cheung and Chen(1998)經研究分析後，將空櫃調度問題特性歸納成下列6項：船公司追求空櫃調度總

成本最小化、貨櫃規格多樣化、東／西雙向航程的空櫃供需、進口商還櫃與貨櫃在陸循環時間不一、空櫃卸點自由選擇、空櫃需求不確定性等 6 項。陳春益與馬開平（1999）經研究分析後，將空櫃調度問題特性歸納成下列 7 項：船公司追求空櫃調度總成本最小化、貨櫃規格多樣化、東／西雙向航程的空櫃供需、進口商還櫃與貨櫃在陸循環時間不一、空櫃卸點自由選擇、各港口「預防性」的空櫃安全存量以因應不確定性的空櫃需求、各港口空櫃最大存量等 7 項。

本文即以上述 7 項空櫃調度問題特性據以建構空櫃調度模式，首先僅就此 7 項特性的內容加以說明臚列如下：

- (一) 船公司追求空櫃調度總成本最小化：船公司調度人員在調度空櫃時，不管是從其他港口調來空櫃或是在當地港口租賃空櫃以因應所需，總是希望調櫃成本與租櫃成本二者的總成本最小化。根據此一特性而建構本文模式中的目標函數。
1. 調櫃成本：由於各港口對空櫃調櫃作業費用收取標準不一，例如各港口裝卸成本都不相同，此一差異使得調度人員對於空櫃的調櫃作業必須格外謹慎與受到限制。以此特性據以建構第二節數學模式中的目標函數第(1)式中第一項，其成本參數是 C_{ijq} ，即是如何在成本最小化下，將空櫃從各供給港適量且適時的運送至各需求港。
 2. 租櫃成本：當船公司從空櫃供給港所調度來的調櫃數量無法滿足需求港的空櫃需求量時，船公司可臨時向貨櫃租賃公司租來空櫃以因應，但必須付出較高成本的空櫃租賃成本。此特性即反映在第二節數學模式中目標函數第(1)式中第二項，其成本參數是 Cr_{kq} ， Cr_{kq} 表示第 k 港第 q 種空櫃租櫃成本（包含提櫃費、空櫃租金、還櫃費）。
- (二) 貨櫃規格多樣化：由於托運人需求多元化，而船公司為滿足其需求，往往需持有並運送不同規格的貨櫃，常見的有 20 呎普通櫃、40 呎普通櫃。另外在實際營運上有相當的比例係使用 40 呎 / 45 呎的高櫃（40' / 45' HQ）。再者，由於近年來亞洲貨載短程化現象極為明顯，所以航商在考量空櫃需求時，對於往來東亞間（East Asia）的櫃況需求，有相當比例用平板櫃或側開櫃等特殊櫃子，以應付超長、超重或超寬的機器成品或設備類貨載。本文僅考慮數量較多的 20 呎普通櫃、40 呎普通櫃，因此在第二節空櫃調度模式建構時，在目標函數與所有的限制式中，都有將 20 呎普通櫃、40 呎普通櫃納入考量，即以 q 代表貨櫃種類（ $q=1, 2$ ； $q=1$ 表 20 呎貨櫃， $q=2$ 表 40 呎貨櫃）。
- (三) 東／西雙向航程的空櫃供需：由於遠東／美西此航線上的船隻是作雙向來回往返航行的，所以船公司的空櫃調度人員在作空櫃調度決策時必須考慮雙向的空櫃供需，

而不是僅考慮單向的空櫃供需。在第二節模式中的第(2)、(3)式，各港口的空櫃存量限制式，皆考慮雙向供需。

- (四) 「預防性」的港口空櫃安全存量：調度人員所面臨的是一個不確定的空櫃需求，因此調度人員根據其經驗，每一港口都必須保持一定的空櫃安全存量，以避免屆時調度不及而造成大量租櫃，支付高額的租櫃成本。建構第二節數學模式中限制式之第(2)式時，考量港口「預防性」的空櫃安全存量限制。
- (五) 港口空櫃最大存量：各港口必須保持一定的空櫃安全存量之外，亦有最大空櫃存量限制。建構第二節數學模式中限制式之第(3)式時，考量港口空櫃最大存量限制。
- (六) 進口商還櫃與貨櫃在陸循環時間不一：進口商進口貨櫃而將進口貨物從貨櫃內卸下之後，必須將空貨櫃還給船公司，此亦是船公司的空櫃來源之一，必須將此納入模式中考量。此特性反映在第二節模式中的第(2)、(3)式，各港口的空櫃存量限制式。但是各地區由於腹地大小、港口作業效率、進口廠商作業或是貨運承攬業者作業效率不同，導致進口商拉回重櫃卸完貨後變成空櫃並還櫃給船公司的時間有所差異，此差異即導致調度人員無法確實掌握空櫃的數量。惟本文假設進口商會在實櫃進口後第7-14天卸完貨並且還櫃。
- (七) 空櫃卸點自由選擇性：所謂空櫃卸點自由選擇性是指原先從空櫃供給港 i 裝載而擬在需求港 j 卸下的空櫃數是 X_{ij} ，但是等到船舶實際灣靠 j 港時，發現 j 港因出口需求少，導致尚有大量的空櫃存量可因應，因此，在 j 港實際卸下的空櫃數假設只有 E 個($E < X_{ij}$)。則 $(X_{ij} - E)$ 的差額則隨著船舶被運至後面沿途灣靠的港口，視各港口實際需求而做機動性的卸櫃，此即是空櫃卸點自由選擇性。其實在船公司的船舶裝載圖上(stowage plan)，實櫃有註明裝運港與卸貨港，但是空櫃只有註明裝運港而未註明卸貨港，只是在裝載圖上的空櫃總數後面註明“optional”。以此特性據以建構第二節模式中限制式之第(4)、(5)式，空櫃卸點自由選擇。

二、空櫃調度模式之建構

根據上述第一節所述之7項空櫃調度特性，本文空櫃調度模式建構如后。首先說明數學符號之定義：

決策變數：

X_{ijlqv} 第 v 艘東航船舶行駛 l 航線於規劃 t 日期灣靠起運港 i 與卸貨港 j 之第 q 種空櫃數量

- $X_{ijlqv't}$ 第 v' 艘西航船舶行駛 l 航線於規劃 t 日期灣靠起運港 i 與卸貨港 j 之第 q 種空櫃數量
- $Xr_{kqt(r)}$ 第 k 港於 $t(r)$ 日租賃第 q 種空櫃的租櫃數量

參數與符號：

- i 貨櫃起運港 $i=1,2,>.....,I$
- j 貨櫃卸貨港 $j=1,2,>.....,J$
- l 航次編號 $l=1,2,>.....,L$
- q 貨櫃種類 $q=1,2$; $q=1$ 表 20 呎貨櫃, $q=2$ 表 40 呎貨櫃
- v 船舶編號 $v=1,2,>.....,V$
- t 船舶灣靠港口的日期, 此日期可事先從表 1 的船期表中查得
- C_{ijq} 第 i 港第 q 種空櫃調至第 j 港之成本 (裝船成本+卸船成本)
- Cr_{kq} 第 k 港第 q 種空櫃租櫃費用 (提櫃成本+還櫃成本+租金成本)
- $T(r)$ 在規劃期內第 k 港第 r 次租空櫃的日期, $r=1,2, \dots, R$ 。從表 1 船期表中可事先決定 $t(r)$, 以基隆港實際的船期為例說明, 在 7/18 日有東向船舶 $v(v=3)$ 灣靠基隆港; 另在 7/16 日有西向船舶 $v'(v'=4)$ 亦灣靠基隆港, 即從 7/16 日與 7/18 日中挑選較晚的日期 7/18 日當作 $t(r)$, 亦即基隆港租空櫃的日期之一是 7/18 日
- D_{kq} 第 k 港第 q 種空櫃最小存量
- H_{kq} 第 k 港第 q 種空櫃最大存量
- E_{ilqv} 第 v 艘東航船舶在起運港 i 裝船的第 q 種空櫃數量
- $E_{ilqv't}$ 第 v' 艘西航船舶在起運港 i 裝船的第 q 種空櫃數量
- S_{vk} 第 v 艘船舶在離開 k 港時, 船舶艙位容量所裝載之空櫃數量限制 (TEU)
- A^+ 表示東航船舶將 k 港之前各起運港 i 港 ($i=1,2,3,\dots,k-1$) 的貨櫃運至卸貨港 j 港 ($j=k$), 而起迄港 (i, j) 所形成的集合即是 A^+ 。以 $k=3$ 為例說明, A^+ 的一部分集合 $A_{k=3}^+ = \{ (i, j) \quad (1, 3), (2, 3) \}$ 。
- A^- 是一個集合, 且 $(i, j) \in A^-$ 。 $A^- = \{ (i, j) \quad (k+1, k), (k+2, k), (k+3, k), \dots (I, k) \}$ 。 A^- 表示西航船舶將 k 港之前各起運港 i 港 ($i=k+1, k+2, k+3, \dots, I$) 的貨櫃運至卸貨港 j 港 ($j=k$), 而起迄港 (i, j) 所形成的集合即是 A^- 。以 $k=3$ 為例說明, A^- 的一部分集合 $A_{k=3}^- = \{ (i, j) \quad (4, 3), (5, 3), (6, 3) \}$ 。
- B^+ 是一個集合, 且 $(i, j) \in B^+$ 。 $B^+ = \{ (i, j) \quad (k, k+1), (k, k+2), (k, k+3), \dots$

(k, J) }。 B^+ 表示東航船舶將起運港 i 港 ($i=k$) 的貨櫃運至沿途灣靠的各卸貨港 j 港 ($j=k+1, k+2, k+3, \dots, J$)，而起迄港 (i, j) 所形成的集合即是 B^+ 。以 $k=3$ 為例說明， B^+ 的一部分集合 $B_{k=3}^+ = \{ (i, j) \quad (3, 4), (3, 5), (3, 6) \}$ 。

B^- 是一個集合，且 $(i, j) \in B^-$ 。 $B^- = \{ (i, j) \quad (k, 1), (k, 2), (k, 3), \dots, (k, k-1) \}$ 。
 B^- 表示西航船舶將起運港 i 港 ($i=k$) 的貨櫃運至沿途灣靠的各卸貨港 j 港 ($j=1, 2, 3, \dots, k-1$)，而起迄港 (i, j) 所形成的集合即是 B^- 。以 $k=3$ 為例說明， B^- 的一部分集合 $B_{k=3}^- = \{ (i, j) \quad (3, 1), (3, 2) \}$ 。

M 是一個集合，且 $(i, j) \in M$ 。 $M = \{ (i, j) \quad (1, k+1), (1, k+2), (1, k+3), \dots, (1, J), (2, k+1), (2, k+2), \dots, (2, J), \dots, (k, k+1), (k, k+2), (k, k+3), \dots, (k, J) \}$ 。
 M 表示東航船舶將各起運港 i 港 ($i=1, 2, 3, \dots, k$) 的貨櫃運至沿途灣靠的各卸貨港 j 港 ($j=k+1, k+2, k+3, \dots, J$)，而各起運港與卸貨港 (i, j) 所形成的集合即是 M 。以 $k=3$ 為例說明， M 的一部分集合 $M_{k=3} = \{ (i, j) \quad (1, 4), (1, 5), (1, 6), (2, 4), (2, 5), (2, 6), (3, 4), (3, 5), (3, 6) \}$ 。

數學模式

式(1)是目標函數，係指船公司追求空櫃調度作業總成本最小化，考量的成本項目包括二大項：調櫃成本（包括裝船成本、卸船成本）與租櫃成本（包括空櫃提櫃成本、還櫃成本、空櫃租金）。

式(2)是港口的空櫃最小存量限制式，係指 k 港的四種空櫃供給來源加總之後的數量除了必須能夠應付下一次預估的出口商所需空櫃數之外，且有「預防性」空櫃安全存量的剩餘，以因應不確定性需求。以圖 1 示意圖為例說明，空櫃供給面包括下列四者：

- ① 第 k 港本身於 $t(r)-1$ 日的空櫃庫存量 $Y_{kq[t(r)-1]}$ 。
- ② 第 v 艘東航船舶 ($v=3$) 從其他各港所載至 k 港的空櫃數 $\sum X_{ijlqv}$ ；再加上第 v' 艘西航船舶 ($v'=4$) 從其他各港所載至 k 港的空櫃數 $\sum_{(i,j) \in A^+} X_{ijlqv'}$ 。
- ③ 上一艘東航船舶 v ($v=2$) 從其他各港口所載至 k 港口之實櫃數量 $\sum_{(i,j) \in A^-} F_{ijlqv}$ ，經進口商卸完貨後變成空櫃還給船公司；還有上一艘西航船舶 v' ($v'=3$) 從其他各港口所載至 k 港口之實櫃數量 $\sum_{(i,j) \in A^+} F_{ijlqv'}$ ，經進口商卸完貨後變成空櫃還給船公司。
- ④ 直接向貨櫃公司所租賃的空櫃數量 $Xr_{kq(t)}$ 。

另外，空櫃的需求面則是包括下列一項：

- ⑤ 第 k 港從 $t(r)$ 日至下一艘東、西航船舶開航日截止，出口商為出口貨物所需的空

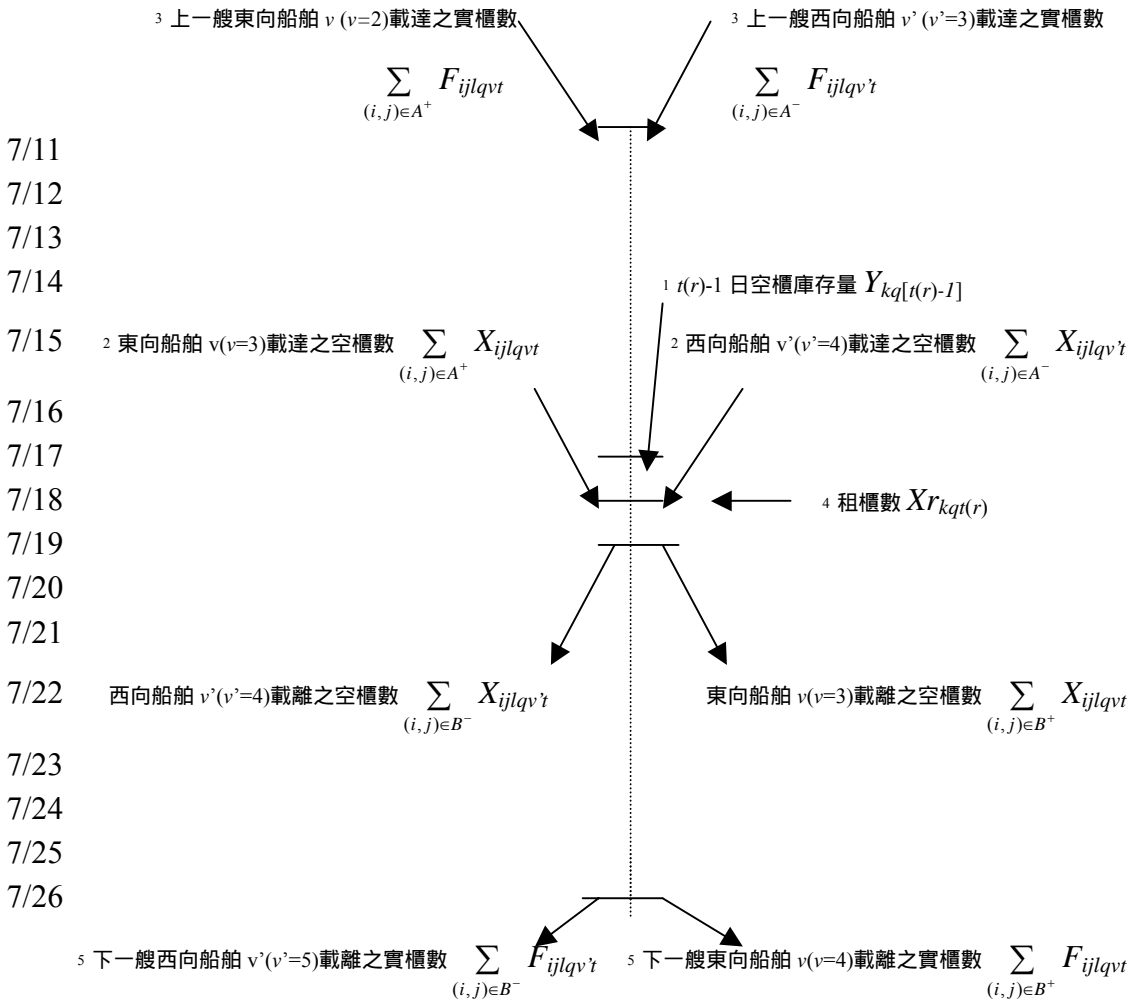


圖 1 第 k 港口空櫃供需示意圖

櫃數，船公司必須在 $t(r)$ 日即準備妥當，此數量即下一艘東向船舶 v ($v=4$) 從 k 港口所載離至其他各港口的實櫃數 $\sum_{(i,j) \in B^+} F_{ijlqv't}$ ；還有西航船舶 v' ($v'=5$) 從 k 港口所載離至其他各港口的實櫃數則是 $\sum_{(i,j) \in B^-} F_{ijlqv't}$ 。

再以圖 2 第 k 港口實櫃與空櫃之間轉換關係示意圖為例說明，7/18 日有東航船舶 v ($v=3$) 灣靠。圖中第①項前一天的空櫃存量經出口商裝貨後變成實櫃並且搭下一艘東航船

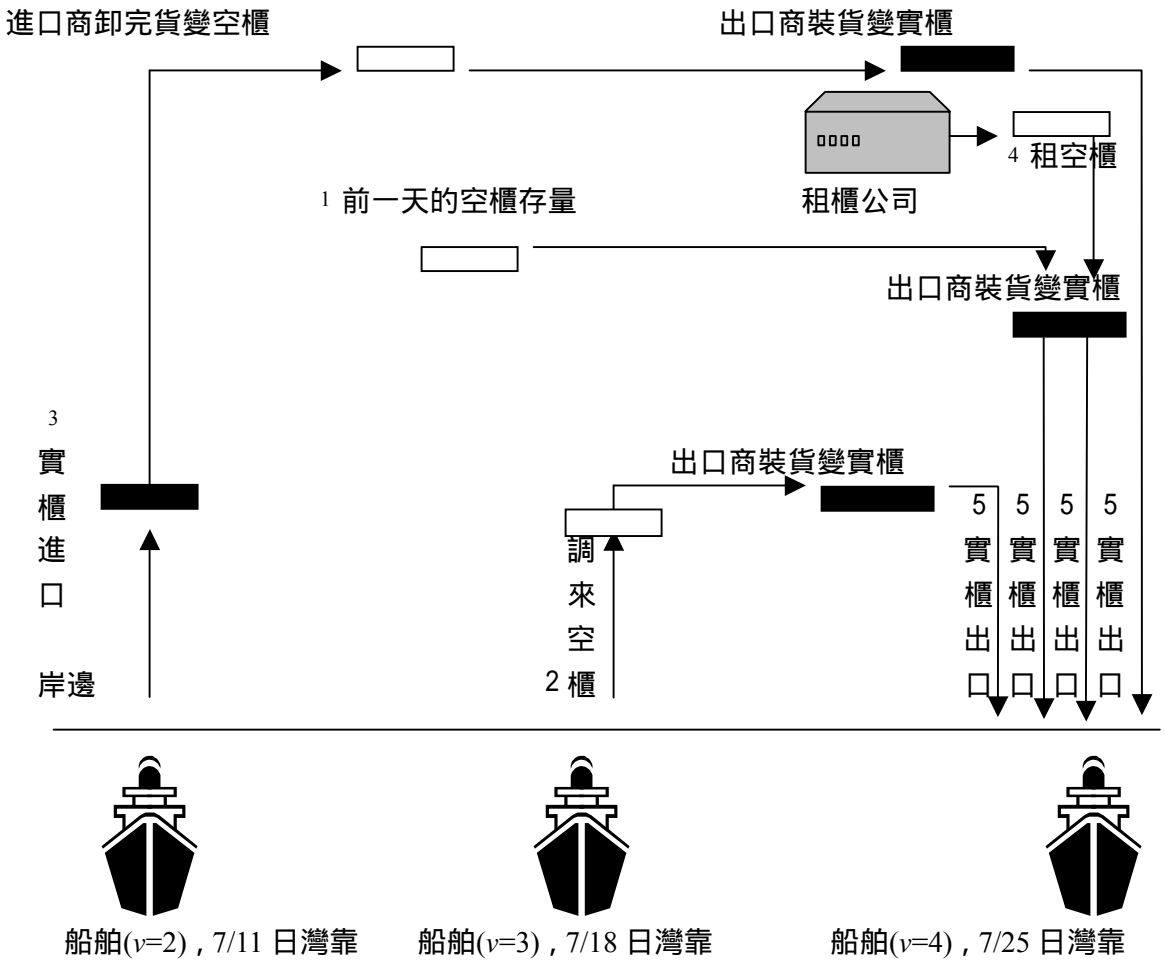


圖 2 港口實櫃與空櫃間轉換關係示意圖

船 $v(v=4)$ 於 7/25 日離開 k 港；圖中第②項是 7/18 日船舶 $v(v=3)$ 從其他各港所載來的空櫃，經出口商裝貨後變成實櫃並且亦搭下一艘船舶 $v(v=4)$ 於 7/25 日離開 k 港；圖中第③項是上一艘東航船舶 $v(v=2)$ 於 7/11 日從其他各港所載來的進口實櫃，經進口商卸完貨物後變成空櫃還給船公司，船公司又將此空櫃給出口商裝貨，經出口商裝貨後又變成實櫃並且亦搭下一艘船舶 $v(v=4)$ 於 7/25 日離開 k 港；圖中第④項係若是前述的①、②、③項的空櫃數仍不夠使用，則可臨時向租櫃公司租賃空櫃以供出口商出口貨物之用，亦搭下一艘船舶 $v(v=4)$ 於 7/25 日離開 k 港。圖 2 僅以東航船舶為例係為簡化說明起見，但模式中仍有考慮西航船舶的情況。

再者，船公司於 7/18 日在 k 港所應準備的空櫃數（亦即上述第①、②、③、④項）除供出口商裝貨變成實櫃並於 7/25 出口（亦即上述第⑤項）之外，應還有安全存量（ P_{kq} ）的剩餘，以因應不確定性的空櫃需求而避免臨時大量租空櫃，可以下式表達之：

$$Y_{kq[t(r)-1]} + \sum_{(i,j) \in A^+} X_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in A^-} X_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in A^+} F_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in A^-} F_{ijlqv_t} + Xr_{kqt(r)} - \sum_{(i,j) \in B^+} F_{ijlqv_t} - \sum_{(i,j) \in B^-} F_{ijlqv_t} \geq P_{kq}, \text{ 而 } Y_{kq[t(r)-1]} - \sum_{(i,j) \in A^+} F_{ijlqv_t} - \sum_{(i,j) \in A^-} F_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in B^+} F_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in B^-} F_{ijlqv_t} = D_{kq}$$

故原式整理簡化為

$$\sum_{(i,j) \in A^+} X_{ijlqv_t} + \sum_{(i,j) \in A^-} X_{ijlqv_t} + Xr_{kqt(r)} \geq D_{kq}$$

式(3)是港口空櫃最大存量限制，係指第 k 港於 $t(r)+1$ 日時第 q 種空櫃存量不得超過空櫃最大存量限制 H_{kq} 。若是超過 H_{kq} ，則超過的部分會被東航或西航的船舶帶離開 k 港，以降低存置成本的浪費。

式(4)與式(5)的意義是空櫃卸點自由選擇且數量守恆限制式，係指第 v 艘東航船舶在 i 港所裝船的第 q 種空櫃數量會等於在沿途各 j 港所卸下的第 q 種空櫃數之和；相同地，限制式(5)則是指西航的情形。

式(6)是船舶裝載容量限制，係指第 v 艘東航船舶在離開 k 港時，船舶上面所裝載的 20'實櫃、40'實櫃、20'空櫃、40'空櫃的總 TEU 數，不得大於船舶艙位容量限制（ S_v ），可以下式表達之：

$$\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} X_{ijlqv_t} + \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2X_{ijlqv_t} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} F_{ijlqv_t} + \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2F_{ijlqv_t} \leq S_v,$$

$$\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} F_{ijlqv_t} - \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2F_{ijlqv_t} - S_v \text{ 皆為已知參數，}$$

$$S_v - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} F_{ijlqv_t} - \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2F_{ijlqv_t} = S_{vk}$$

故原式整理簡化為

$$\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} X_{ijlqv^t} + \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2X_{ijlqv^t} \leq S_{vk}$$

式(7)是決策變數非負整數限制式。

目標函數

$$Min \sum_{v=1}^V \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^L \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^J \sum_{i=1}^I C_{ijq} X_{ijlqv^t} + \sum_{v=1}^V \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^L \sum_{\substack{j=1 \\ i > j}}^J \sum_{i=1}^I C_{ijq} X_{ijlqv^t} + \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{k=1}^K C_{rkq} X_{rkqt(r)} \tag{1}$$

限制式

$$\sum_{(i,j) \in A^+} X_{ijlqv^t} + \sum_{(i,j) \in A^-} X_{ijlqv^t} + X_{rkqt(r)} \geq D_{kq} \tag{2}$$

$$\sum_{(i,j) \in A^+} X_{ijlqv^t} + \sum_{(i,j) \in A^-} X_{ijlqv^t} + X_{rkqt(r)} - \sum_{(i,j) \in B^+} X_{ijlqv^t} - \sum_{(i,j) \in B^-} X_{ijlqv^t} \leq H_{kq} \tag{3}$$

$$\sum_{j=i+1}^J X_{ijlqv^t} = \sum_{i=1}^I E_{ilqv^t} \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{I-1} X_{ijlqv^t} = \sum_{i=1}^I E_{ilqv^t} \tag{5}$$

$$\sum_{\substack{q=1 \\ q \neq 2}}^Q \sum_{(i,j) \in M} X_{ijlqv^t} + \sum_{q=2}^Q \sum_{(i,j) \in M} 2X_{ijlqv^t} \leq S_{vk} \tag{6}$$

$$X_{ijlqv^t}, X_{ijlqv^t}, X_{rkqt(r)} \in N \cup \{0\} \tag{7}$$

參、實例測試

本節將以國內某航運公司之遠東 / 美西航線空櫃調度問題為例進行實例測試。第一節簡述空櫃調度模式所需相關基本資料；第二節為模式之敏感度分析；第三節則是進行空櫃調度模式結果討論與分析。

一、航運公司空櫃調度相關基本資料

表 1 船舶灣靠各港口船期表

港口	高雄	香港	基隆	神戶	橫濱	洛杉磯	
船舶							
船舶 4							
(V4) 西 ←	07/20		07/16	07/13	07/12	07/01	
船舶 5							
(V5) 西 ←	07/27		07/23	07/20	07/19	07/08	
船舶 1	東 →	06/30	07/02	07/04	07/07	07/08	07/19
(V1) 西 ←	08/08		08/04	08/01	07/31	07/20	
船舶 2	東 →	07/07	07/09	07/11	07/14	07/15	07/26
(V2) 西 ←	08/15		08/11	08/08	08/07	08/07	07/27
船舶 3	東 →	07/14	07/16	07/18	07/21	07/22	08/02
(V3) 西 ←	08/22		08/18	08/15	08/14	08/14	08/03
船舶 4	東 →	07/21	07/23	07/25	07/28	07/29	08/09
(V4) 西 ←	08/29		08/25	08/22	08/21	08/21	08/10
船舶 5	東 →	07/28	07/30	08/01	08/04	08/05	08/16
(V5) 西 ←	09/05		09/01	08/29	08/28	08/28	08/17

表 2 船舶裝載容量限制

船舶編號	V1	V2	V3	V4	V5
裝載容量(TEU)	265	1802	1802	3265	1802

本文以國內某航運公司之遠東 / 美西航線空櫃調度問題為實例研究，並以 7 月 1 日至 7 月 31 日為規劃期，該期間航運公司計有 5 艘定期貨櫃船灣靠 6 個港口。

本文收集並整理出空櫃調度模式所需之各項參數資料，包括實際船期表（表 1）、各船舶裝載容量限制（表 2）、空櫃裝船成本、空櫃卸船成本、空櫃提櫃 / 還櫃 / 每日租金之成本、存置成本、各港口規劃期初之空櫃存量、各港口空櫃安全存量、最大存量、貨櫃在陸循環時間等（表 3、表 4）。其中，因部分資料取得不易，如貨櫃在陸循環時間乃以平均值代之。又空櫃分為自有櫃與租賃櫃，但船公司對於租賃櫃之流向無法控制，因為租賃櫃是因應出口商臨時大量出口所需，其流向是出口貨物目的地，在實際作業上船公司視自有櫃與租賃櫃是同質的，本文模式亦視自有櫃與租賃櫃是同質的。本模式建構

表 3 各港口貨櫃相關資料 (20 呎)

單位：美金、個、天

	高雄	香港	基隆	神戶	橫濱	洛杉磯
裝卸成本	50	200	110	165	165	150
提櫃成本	25	30	25	40	40	35
還櫃成本	25	30	25	40	40	90
每日租金	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
存置成本	0	3	0	3	3	0
期初空櫃量	411	267	325	271	302	2500
港口空櫃 安全存量	50	50	50	50	50	100
港口空櫃 最大存量	1000	300	1000	200	200	5000
空櫃裝貨至出 口的天數	6	6	6	6	6	8
進口商卸貨還 櫃的天數	10	10	10	10	10	12

資料來源：某航運公司。註：除空櫃存量外，上述各數值均是平均值

表 4 各港口貨櫃相關資料 (40 呎)

單位：美金、個、天

	高雄	香港	基隆	神戶	橫濱	洛杉磯
裝卸成本	60	295	150	250	250	150
提櫃成本	30	35	30	50	50	50
還櫃成本	30	35	30	50	50	105
每日租金	3	3	3	3	3	3
存置成本	0	6	0	6	6	0
期初空櫃量	365	167	305	127	119	1500
港口空櫃 安全存量	50	50	50	50	50	100
港口空櫃 最大存量	1000	150	1000	100	100	3000
空櫃裝貨至出 口的天數	8	8	8	8	8	11
進口商卸貨還 櫃的天數	12	12	12	12	12	14

資料來源：某航運公司。註：除空櫃存量外，上述各數值均是平均值

完成後，共有 896 個變數，456 個限制式，本文直接使用數學規劃求解程式 LINDO 於個人電腦上加以求解。至於模式中的成本參數其值之計算過程，說明如下：

本模式中的成本參數共有 C_{ijq} 、 Cr_{kq} 兩項：

C_{ijq} 代表第 q 種空櫃從 i 港調至 j 港的成本（裝卸成本）

Cr_{kq} 代表第 q 種空櫃在 k 港的租櫃成本（包含提櫃費、空櫃租金、還櫃費）

以 40' 的空櫃從洛杉磯港調至高雄港為例說明成本參數 C_{ijq} （裝卸成本資料可從表 4 查得）

$$C_{ijq} = (\text{裝船成本} + \text{卸船成本}) = (150 + 60) = 210$$

另以高雄港租 40' 空櫃為例說明成本參數 Cr_{kq} （成本資料均可從表 4 中查得，而海上運送天數可從表 1 的船期中查得）

$$\begin{aligned} Cr_{kq} &= (\text{提櫃費} + \text{空櫃租金} + \text{還櫃費}) = (\text{提櫃費} + \text{每日租金} \times \text{租櫃天數} + \text{還櫃費}) \\ &= [\text{提櫃費} + \text{每日租金} \times (\text{從出口商拉回空櫃裝貨至出口之天數} + \text{海上運送天數} + \text{從進口商提貨至卸完貨後還空櫃之天數}) + \text{還櫃費}] \\ &= [30 + 3 \times (8 + 19 + 14) + 105] = 258 \end{aligned}$$

上述的 Cr_{kq} 值係指船公司可順利將空櫃還給租櫃公司的情況，但是在實務上，當進口商提回貨櫃至卸完貨後要還櫃給船公司，但常常受到船公司與貨櫃出租公司雙方租櫃契約有還櫃上限的限制，導致船公司還櫃時間受到約束而延後還櫃，徒增船公司的空櫃租金費用。所謂「還櫃上限」，係為避免船公司向租櫃公司所租的貨櫃集中於某一段期間大量解租還櫃，造成租櫃公司於此一段期間之空櫃供給量過剩。目前國內海運公司的運作實務為，其與租櫃公司訂有租賃契約，對於解租貨櫃量限制之規定為：每月可還櫃數量為總租櫃量的三分之一，即若船公司欲解租所有的租賃空櫃，則必須三個月才能全部還清。根據船公司的經驗，此還櫃上限徒增船公司平均多出 40 天左右的租櫃租金支出，因此上述的 Cr_{kq} 值需再加上 40 天的租金，亦即 $Cr_{kq} = 258 + 3 \times 40 = 378$ 。

二、模式敏感度分析

將上述第一節所整理之各項資料輸入本文所建構之空櫃調度模式，運算結果如空櫃調度結果示意圖 3 及表 5 所示，空櫃調度結果示意圖說明如下：

(一) 符號說明：

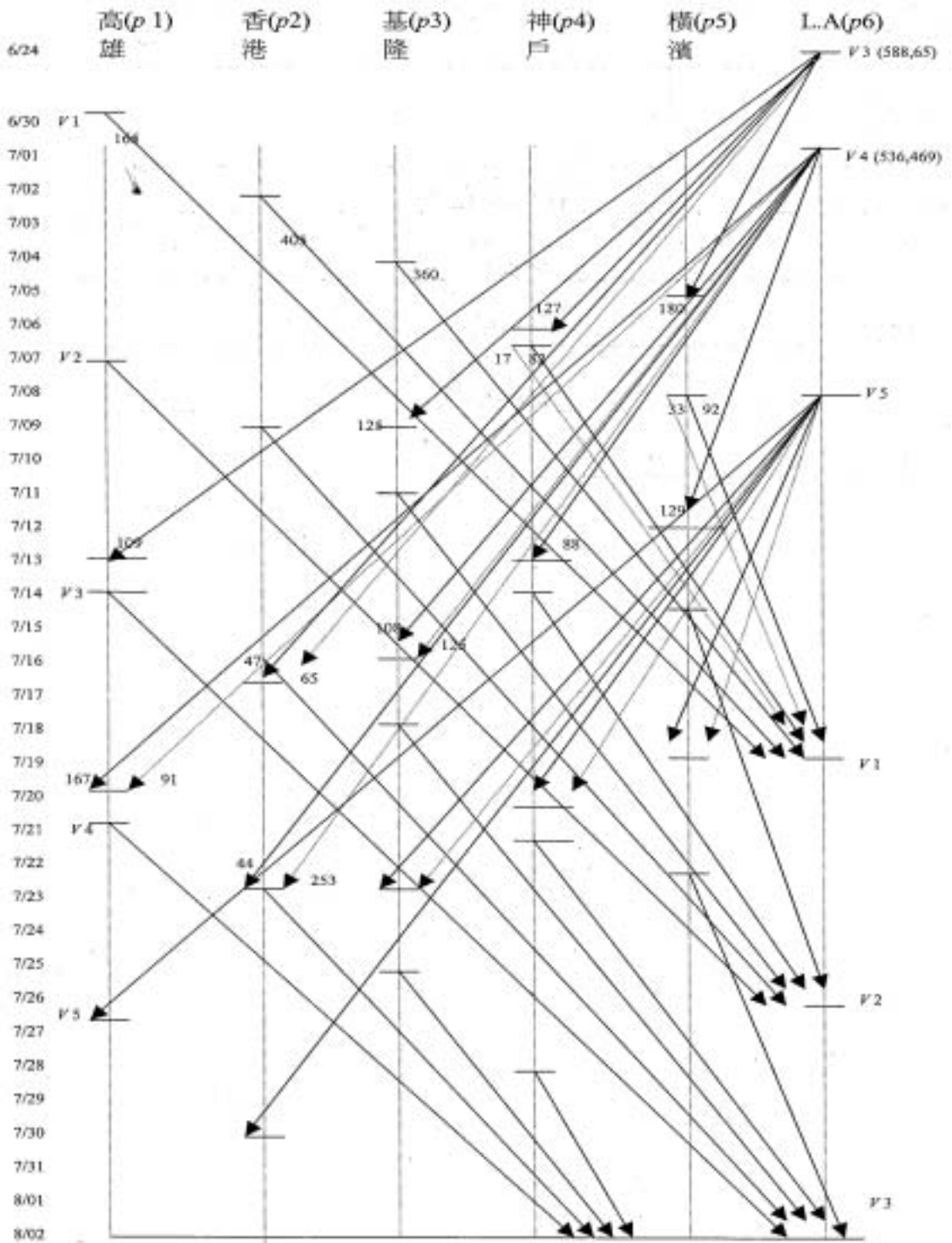


圖 3 空櫃調度結果示意圖(40')

表 5 本文模式調度結果與船公司人工調度結果之比較

	總調度空櫃數	空櫃裝卸總成本	租櫃總成本	總空櫃調度成本
人工調度	1355	356,405	185,980	542,385
模式調度(a)	1041 (-314)	293,814 (-62,591)	248,980 (+63,000)	542,794 (+409)
模式調度(b)	1713 (+358)	468,772 (+112,367)	0 (-185,980)	468,772 (-73,613)

1. 示意圖橫軸代表船舶所灣靠之各港口，包括高雄、香港、基隆、神戶、橫濱、洛杉磯等六個港口，編號依序為 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 、 p_6 。
2. 縱軸代表日期，日期從 6/24 日至 8/2 日。
3. 示意圖兩側的 V 代表船舶編號，共有五艘船舶，編號分別為 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 、 V_5 。
4. 示意圖中實線箭頭 \longrightarrow 代表實櫃流向；虛線箭頭 $\cdots\cdots\longrightarrow$ 代表空櫃流向。

(二) 調度結果說明：

1. 以 v_3 船舶為例， v_3 船舶於 6/24 日從 LA 港出發，船舶上共裝載 588 個 40' 實櫃與 65 個 40' 空櫃，沿途灣靠橫濱、神戶、基隆、高雄、香港，依序分別卸下實櫃數為 180、127、125、109、47；另於香港卸下 65 個空櫃。
2. 再以 v_4 船舶為例， v_4 船舶於 7/1 日從 LA 港出發，船舶共裝載 536 個 40' 實櫃與 469 個 40' 空櫃，沿途灣靠橫濱、神戶、基隆、高雄、香港，依序分別卸下實櫃數為 129、88、108、167、44；另依序分別卸下空櫃數為 0、0、125、91、253。
3. 再以 v_1 船舶為例， v_1 船舶於 6/30 日從高雄港出發，沿途灣靠香港、基隆、神戶、橫濱，目的港是 LA。各港運至目的港 LA 的實櫃數分別為 165、405、360、82、92；另外，各港運至目的港 LA 的空櫃數分別為 0、0、0、17、33。
4. 因圖 3 空櫃調度結果示意圖篇幅受限的關係，僅以 v_1 、 v_3 、 v_4 船舶加以說明，其餘航次的空櫃調度結果則省略。
5. 從 7/01-7/31 日為止，船公司的調度人員其空櫃總調度實際數量是 1355 個，而本文模式空櫃調度輸出結果總數是 1041 個。

本小節將對本文模式進行敏感度分析，以期了解模式之適切性，並據以分析各因素對船公司空櫃調度總成本之影響程度，包括調整空櫃每日租金、空櫃裝貨至出口天數及

表 6 空櫃每日租金之敏感度分析

	空櫃調度數量	空櫃調度成本	租櫃數	租櫃成本	總成本
原例	1,041	293,814	675	248,980	542,794
例 1-(a)	1,041 (0%)	293,814 (0%)	675 (0%)	303,655 (21.96%)	597,469 (10.07%)
例 1-(b)	1,041 (0%)	293,814 (0%)	675 (0%)	194,305 (-21.96%)	488,119 (10.07%)

()內數字表變動幅度百分比

進口商卸貨還櫃的天數、港口之空櫃安全存量、以及空櫃租櫃數量等因素之敏感度分析。

例 1：調整空櫃每日租金：

- (a) 將空櫃每日租金從原來的每日 3 元 (40 呎) 1.5 元 (20 呎) 調高為 4 元 (40 呎) 2.5 元 (20 呎)，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量與調度成本維持不變，但租櫃成本增為 303,655 元 (增加幅度 21.96%)，而總成本亦增加為 597,469 元 (增加幅度 10.07%)。
- (b) 將空櫃每日租金從原來的每日 3 元 (40 呎) 1.5 元 (20 呎) 調低為 2 元 (40 呎) 0.5 元 (20 呎)，經模式輸出結果如表 6 顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量與調度成本維持不變，但租櫃成本降至 194,305 元 (降低幅度 21.96%)，而總成本亦降低為 488,119 元 (降低幅度 10.07%)。

經由本例的敏感度分析結果可知，空櫃每日租金僅稍微調整 1 元，對船公司的租櫃成本增減 21.96%，對總成本亦增減 10.07%，因此可知空櫃每日租金此一因素對船公司的成本影響頗大。

因此本文建議船公司可以藉由協議或是談判的方式向租櫃公司爭取空櫃租金優惠或是折扣策略。例如：當船公司向租櫃公司租櫃的數量達到一定的數量時，即可享有一定的租金折扣，如此一來，船公司可降低相當幅度的空櫃租金成本，對於空櫃調度總成本降低有相當大的助益。

例 2：調整空櫃裝貨至出口天數及進口商卸貨還櫃的天數：

- (a) 將出口商提回空櫃裝貨至出口天數 (20 呎櫃 6 天、40 呎櫃 8 天) 及進口商卸貨還櫃的天數 (20 呎櫃 10 天、40 呎櫃 12 天)，各縮短 1 天，變成 5+9=14 天

表 7 空櫃裝貨至出口天數及進口商卸貨還櫃的天數之敏感度分析

	空櫃調度數量	空櫃調度成本	租櫃數	租櫃成本	總成本
原例	1,041	293,814	675	248,980	542,794
例 2-(a)	1,041 (0%)	293,814 (0%)	675 (0%)	244,930 (-1.63%)	538,744 (-0.75%)
例 2-(b)	1,041 (0%)	293,814 (0%)	675 (0%)	240,880 (-3.25%)	534,694 (-1.49%)

()內數字表變動幅度百分比

(20 呎) 7+11=18 天 (40 呎) 經模式輸出結果如表 7 顯示，與原例相比較之下，空櫃租櫃成本為 244,930 元 (降低幅度為 1.63%)，而總成本降低為 538,744 元 (降低幅度為 0.75%)。

- (b) 將出口商提回空櫃裝貨至出口天數 (20 呎櫃 6 天、40 呎櫃 8 天) 及進口商卸貨還櫃的天數 (20 呎櫃 10 天、40 呎櫃 12 天)，各縮短 2 天，變成 4+8=12 天 (20 呎) 6+10=16 天 (40 呎) 經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃租櫃成本為 240,880 元 (降低幅度為 3.25%)，而總成本降低為 534,694 元 (降低幅度為 1.49%)。

從敏感度分析結果可發現縮短出口商提回空櫃裝貨至出口天數以及進口商卸貨還櫃的天數，對船公司的租櫃成本與總成本影響並不顯著。

雖然縮短出口商提回空櫃裝貨至出口天數以及進口商卸貨還櫃的天數，對船公司的租櫃成本與總成本影響並不顯著，但是對於成本降低還是有所助益。因此本文建議船公司還是要採取嚴格的「催櫃」策略，以降低船公司的租櫃成本，並可望對空櫃的流向與數量作更精確的掌握。

例 3：調整港口空櫃安全存量：

- (a) 將各港口空櫃安全存量從原來的 50 個調高為 70 個，經模式輸出結果如表 8 顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量增加為 1,341 個 (增加幅度 28.82%)，空櫃調度成本亦增為 371,814 元 (增加幅度 26.55%)，而租櫃數量則降為 375 個 (降低幅度為 44.44%)，租櫃成本亦降為 137,980 元 (降低幅度為 44.58%)，而總成本亦降低為 509,794 元 (降低幅度 6.08%)。

表 8 港口空櫃安全存量之敏感度分析

	空櫃調度數量	空櫃調度成本	租櫃數	租櫃成本	總成本
原例	1,041	293,814	675	248,980	542,794
例 3-(a)	1,341 (28.82%)	371,814 (26.55%)	375 (-44.44%)	137,980 (-44.58%)	509,794 (-6.08%)
例 3-(b)	1,641 (57.64%)	449,814 (53.09%)	75 (-88.89%)	26,980 (-89.16%)	476,794 (-12.16%)
例 3-(c)	1,713 (64.55%)	468,772 (59.55%)	0 (-100%)	0 (-100%)	468,772 (-13.64%)
例 3-(d)	1,791 (72.05%)	488,814 (66.37%)	0 (-100%)	0 (-100%)	488,814 (-9.94%)
例 3-(e)	1,941 (86.46%)	527,814 (79.64%)	0 (-100%)	0 (-100%)	527,814 (-2.76%)

()內數字表變動幅度百分比

- (b) 將各港口空櫃安全存量從原來的 50 個調高為 90 個，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量增加為 1,641 個（增加幅度 57.64%），空櫃調度成本亦增為 449,814 元（增加幅度 53.09%），而租櫃數量則降為 75 個（降低幅度為 88.89%），租櫃成本亦降為 26,980 元（降低幅度為 89.16%）。而總成本亦降低為 476,794 元（降低幅度 12.16%）。
- (c) 將各港口空櫃安全存量從原來的 50 個調高為 95 個，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量增加為 1,716 個（增加幅度 64.84%），空櫃調度成本亦增為 469,314 元（增加幅度 59.73%），而租櫃數量則降為 0 個（降低幅度為 100%），租櫃成本亦降為 0 元（降低幅度為 100%）。而總成本亦降低為 469,314 元（降低幅度 13.54%）。
- (d) 將各港口空櫃安全存量從原來的 50 個調高為 100 個，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量增加為 1,791 個（增加幅度 72.05%），空櫃調度成本亦增為 488,814 元（增加幅度 66.37%），而租櫃數量則降為 0 個（降低幅度為 100%），租櫃成本亦降為 0 元（降低幅度為 100%）。而總成本亦降低為 488,814 元（降低幅度 9.94%）。
- (e) 將各港口空櫃安全存量從原來的 50 個調高為 110 個，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，空櫃調度數量增加為 1,941 個（增加幅度 86.46%），空櫃調度成本亦增為 527,814 元（增加幅度 79.64%），而租櫃數量則降為 0 個（降

低幅度為 100%)，租櫃成本亦降為 0 元 (降低幅度為 100%)。而總成本亦降低為 527,814 元 (降低幅度 2.76%)。

從敏感度分析結果可知，提高各港口的空櫃安全存量可減少船公司向租櫃公司租空櫃的數量，亦可降低租櫃成本，如例 3-(a)、(b)、(c)三種情況。但是隨著空櫃安全存量持續的提高，租櫃數量雖然可降至 0 個，但是卻從其他港口調來太多的空櫃，導致空櫃調度成本大增，亦使得總成本開始往上增加，如例 3-(d)、(e)。綜言之，船公司在各港口的空櫃存量若是能維持在 95 個左右將是最佳的情況，能夠讓船公司的調度總成本達到最小化。

因此，本文建議船公司可採取的策略是將目前各港口的空櫃安全存量提高至 95 個，以達到空櫃調度總成本最小化。但是亦不可為了降低租櫃成本而將各港口的空櫃安全存量盲目地無限制提高，此措施會造成從其他港口調來太多的空櫃，導致空櫃調度成本大增，亦使得總成本不但是最佳化且開始往上增加。另外，本文亦建議船公司可採取的策略是，可根據空櫃需求的淡季與旺季，對各港口的空櫃安全存量以 95 個為基礎而做適當的微調，此夠能符合空櫃調度實務作業的需求。

例 4：調整租櫃數量：

- (a) 將船公司的租櫃總數量從原來的 675 個減少至 625 個 (亦即減少 50 個)，經模式輸出結果如表 9 顯示，與原例相比較之下，船公司空櫃調度數量增為 1,091 個 (增加幅度 4.8%)，空櫃調度成本亦增為 304,314 元 (增加幅度 3.57%)，而租櫃數量則降為 625 個 (降低幅度為 7.41%)，租櫃成本亦降為 230,480 元 (降低幅度為 7.43%)。而總成本亦降低為 534,794 元 (降低幅度 1.47%)。
- (b) 將船公司的租櫃總數量從原來的 675 個減少至 575 個 (亦即減少 100 個)，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，船公司空櫃調度數量增為 1,141 個 (增加幅度 9.61%)，空櫃調度成本亦增為 314,814 元 (增加幅度 7.15%)，而租櫃數量則降為 575 個 (降低幅度為 14.81%)，租櫃成本亦降為 211,980 元 (降低幅度為 14.86%)。而總成本亦降低為 526,794 元 (降低幅度 2.95%)。
- (c) 將船公司的租櫃總數量從原來的 675 個減少至 525 個 (亦即減少 150 個)，經模式輸出結果顯示，與原例相比較之下，船公司空櫃調度數量增為 1,191 個 (增加幅度 14.41%)，空櫃調度成本亦增為 325,314 元 (增加幅度 10.72%)，而租櫃數量則降為 525 個 (降低幅度為 22.22%)，租櫃成本亦降為 193,480 元 (降低幅度為 22.29%)。而總成本亦降低為 518,794 元 (降低幅度 4.42%)。

表 9 租櫃數量之敏感度分析

	空櫃調度數量	空櫃調度成本	租櫃數	租櫃成本	總成本
原例	1,041	293,814	675	248,980	542,794
例 4-(a)	1,091 (4.80%)	304,314 (3.57%)	625 (-7.41%)	230,480 (-7.43%)	534,794 (-1.47%)
例 4-(b)	1,141 (9.61%)	314,814 (7.15%)	575 (-14.81%)	211,980 (-14.86%)	526,794 (-2.95%)
例 4-(c)	1,191 (14.41%)	325,314 (10.72%)	525 (-22.22%)	193,480 (-22.29%)	518,794 (-4.42%)
例 4-(d)	1,713 (64.55%)	468,772 (59.55%)	0 (-100%)	0 (-100%)	468,772 (-13.64%)

()內數字表變動幅度百分比

(d) 將船公司的租櫃總數量從原來的 675 個減少至 0 個 (亦即減少 675 個), 經模式輸出結果顯示, 與原例相比較之下, 船公司空櫃調度數量增為 1,713 個 (增加幅度 64.55%), 空櫃調度成本亦增為 468,772 元 (增加幅度 59.55%), 而租櫃數量則降為 0 個 (降低幅度為 100%), 租櫃成本亦降為 0 元 (降低幅度為 100%)。而總成本亦降低為 468,772 元 (降低幅度 13.64%)。

從敏感度分析結果可發現, 隨著船公司的租櫃數量下降, 租櫃成本亦隨之下降, 而且船公司必須從其他港口增調空櫃來因應, 雖然會導致空櫃調度成本增加, 但是總成本還是下降。若是船公司向租櫃公司租櫃的數量繼續下降直到 0 個, 則調度總成本可達到最佳化, 亦言之, 船公司若是能從其他港口調自己的空櫃來因應出口商所需, 而不必向租櫃公司租賃空櫃時, 則盡量少向租賃公司租空櫃, 此結果與船公司的空櫃調度實務作業相吻合。

因此本文建議船公司的空櫃調度策略是, 空櫃調度人員在作空櫃調度決策時, 為了降低空櫃調度總成本, 應優先考慮從其他港口調來空櫃因應需求。若是無法從其他港口調來空櫃因應時, 再考慮向租櫃公司租賃空櫃因應。

三、空櫃調度模式結果討論與分析

由表 5 模式調度結果(a)可知, 就總調度空櫃數量而言, 模式調度數量比人工實際調度數量少 314 個; 就空櫃裝卸總成本而言, 因為模式調度數量比人工實際調度數量少 314

個，所以在空櫃裝卸總成本方面，模式調度比人工調度少 62,591 美元；就租櫃總成本而言，因為模式調度數量比人工實際調度數量少 314 個，必須租賃較多的空櫃以因應需求，所以在租櫃成本方面，模式調度比人工調度多支出 63,000 美元；就總成本而言，模式調度結果總成本還是比人工調度結果總成本多 409 美元。經分析結果發現，其原因與模式中各港口空櫃安全存量、各港口實際重櫃需求量有關。在規劃期內，因為有些港口的實際重櫃需求量超過空櫃安全存量與預估重櫃需求量二者之和（本文以各港前 3 個航次實際重櫃出口量平均值作為預估重櫃需求量），導致模式中必須租較多的空櫃來因應實際重櫃需求量，而產生較多的租櫃成本，雖然模式中的空櫃裝卸成本比人工調度的空櫃裝卸成本來得低，但是就總成本（裝卸成本+租櫃成本）而言，模式調度結果總成本還是比人工調度結果總成本多 409 美元。可知，模式中的各港口重櫃預估需求量若是能夠越接近港口實際重櫃需求量，則空櫃調度總成本可達最小化。

另外，由表 5 模式調度結果(b)可知，若是將各港口的空櫃安全存量提高至 95 個，則從其他港口調來空櫃數量為 1,713 個，比起人工調度結果 1,355 個多了 358 個，本文模式調度空櫃的裝卸成本為 468,772 美元，比起人工調度結果 356,405 美元多了 112,367 美元。但在租櫃數量方面，因為模式從其他港口調來足夠的空櫃數因應所需，因此不需額外向租櫃公司租賃空櫃，所以就租櫃成本方面，模式的租櫃成本為 0 美元，比起人工調度結果租櫃成本 185,980 美元少了 185,980 美元。因此就調櫃裝卸成本與租櫃成本二者之和而言，模式的總成本為 468,772 美元，比人工調度總成本 542,385 美元少了 73,613 美元。可知目前船公司人工空櫃調度實際作業並非是最佳化。本文建議船公司應將各港口的空櫃安全存量提高至 95 個，才能使空櫃調度總成本最低，達到最佳化。

再者，因為各港口最佳的空櫃安全存量 95 個，此數據會隨著淡季、旺季的變動而有所增減，建議船公司可以 95 個為基礎而加以微調。甚者，未來船公司可以根據各港口重櫃需求的歷史資料加以整理分析，若是能夠精準地預測各港口重櫃需求量，亦將有助於降低空櫃調度總成本。

肆、結論與建議

經由前述模式實例測試結果與分析，本文之重要發現可歸納如下幾點：

- 一、過去相關文獻所建構的空櫃調度模式大多屬於確定性的模式，即假設事前已知模式中的各港口空櫃需求量，惟在實務上，各港口空櫃需求是一不確定性因素。本文所

建構之模式，除了將貨櫃的規格（20 呎、40 呎）權屬（自有櫃、租賃櫃）東／西雙向航程的空櫃供需、空櫃卸點選擇性與進口廠商還櫃等因素納入考量之外，並將各港口「預防性」的空櫃安全存量、空櫃最大存量二項因素納入模式中加以考慮，即以「預防性」港口空櫃安全存量、預估進口商會歸還的空櫃量、再加上預計的空櫃租櫃數量三者數量之和，來因應各港口不確定的空櫃需求量。經實例測試結果顯示，本文在模式中加入各港口「預防性」空櫃安全存量限制、以及最大存量限制，模式所輸出的空櫃調度總數量與實務上船公司所調度的空櫃總數量已經很接近，表示在模式中加入空櫃安全存量限制與最大存量限制之後，似乎比較能夠反映船公司空櫃調度的實際作業與提高模式的實用性，此為本文在實務應用上的價值。

- 二、本文模式中加入安全存量限制，使空櫃調度總數量明顯增加，比較接近船公司空櫃調度實務。但是本文發現船公司調度人員心目中的空櫃安全存量的高低，明顯地影響空櫃調度總數量與租櫃總數量。例如若是調度人員心目中的安全存量較高，則空櫃調度總數量增加，調櫃的裝卸成本亦增加，但是實際租櫃總數量減少，租櫃成本亦減少；反之若是船公司調度人員心目中的空櫃安全存量低，則空櫃調度總數量減少，調櫃的裝卸成本亦低，但是實際租櫃總數量增加，租櫃成本亦增加。經敏感度分析結果發現，船公司在各港口的最佳的空櫃安全存量是 95 個。因此本文建議船公司可採取的策略是，將目前各港口的空櫃安全存量提高至 95 個，以達到空櫃調度總成本最小化。但是亦不可為了降低租櫃成本而將各港口的空櫃安全存量盲目地無限制提高，此措施會造成從其他港口調來太多的空櫃，導致空櫃調度成本大增，亦使得總成本不但不是最佳化且開始往上增加。另外，本文亦建議船公司可採取的策略是，可根據空櫃需求的淡季與旺季，對各港口的空櫃安全存量以 95 個為基礎而做適當的微調，此夠能符合空櫃調度實務作業的需求。
- 三、其次，調整空櫃的每日租金對船公司的空櫃調度總成本影響頗大。因此，本文建議船公司可以藉由協議或是談判的方式向租櫃公司爭取空櫃租金優惠或是折扣策略。例如：當船公司向租櫃公司租櫃的數量達到一定的數量時，即可享有一定的租金折扣，如此一來，船公司可降低相當幅度的空櫃租金成本，對於空櫃調度總成本降低有相當大的助益。
- 四、至於，調整空櫃裝貨至出口天數及進口商卸貨還櫃的天數，對船公司的空櫃調度總成本影響並不顯著。雖然縮短出口商提回空櫃裝貨至出口天數以及進口商卸貨還櫃的天數，對船公司的租櫃成本與總成本影響並不顯著，但是對於成本降低還是有所助益。因此本文建議船公司還是要採取嚴格的「催櫃」策略，以降低船公司的租櫃成本，並可望對空櫃的流向與數量作更精確的掌握。
- 五、另就租櫃數量而言，船公司在調度空櫃時，若是能夠從其他港口調船公司自己的空

櫃來因應出口商所需，而不必向租賃公司租賃空櫃時，則盡量少向租賃公司租櫃。因此本文建議船公司的空櫃調度策略是，空櫃調度人員在作空櫃調度決策時，為了降低空櫃調度總成本，應優先考慮從其他港口調來空櫃因應需求。若是真的無法從其他港口調來空櫃因應時，再考慮向租櫃公司租賃空櫃因應出口商所需的空櫃數。

- 六、本文模式中僅考慮常見的有 20 呎普通櫃、40 呎普通櫃，但是在實際營運上有相當的比例係使用 40 呎 / 45 呎的高櫃 (40' / 45' HQ)。再者，由於近年來亞洲貨載短程化現象極為明顯，所以航商在考量空櫃需求時，對於往來東亞間 (East Asia) 的櫃況需求，有相當的比例用平板櫃或側開櫃等特殊櫃子，以應付超長、超重或超寬的機器成品或設備類貨載，因此建議後續研究可進一步調查這些特殊的櫃種，在貨櫃航商的營運上，其所佔的實際比例有多少，併納入模式中加以考量，將可使模式更能反映出航商的營運實務並提高模式的實用性。
- 七、本文僅考慮遠東 / 美西航線的調櫃情形，但遠東各港口的空櫃供需情況受東南亞 / 東北亞近洋航線與歐洲航線的影響，未來如能將此三航線一併考慮，必能提高模式的實用性。

參考文獻

一、中文部份

1. 陳春益、余秀梅(1994)，次梯度資源導向分解演算法應用於動態貨櫃調度模式之研究，國立成功大學學報，28，199-214。
2. 陳春益、張永昌(1997)，選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討，國科會人文及社會科學研究彙刊，7(3)，438-444。
3. 陳春益、馬開平(1999)，近洋貨櫃調度模式之研究，運輸學刊，11(1)，1-16。
4. 陳春益、陳昭吟(1993)，動態貨櫃調度模式之研究，運輸計劃季刊，22(2)，231-258。
5. 陳春益、趙時樑(1995)，貨櫃調度決策支援系統之研究，國立成功大學學報，30，177-197。

二、英文部份

1. Aronson, J. E. (1989). A Survey of Dynamic Network Flows, Annals of Operations Research, 20, 1-66.
2. Chen, C. Y. (1995). A Spatial Decision Support System for the Dynamic Container Allocation Problem, Institute of Operations Research & Management Sciences Conference, New Orleans.
3. Cheung, R. K., & Chen, C. Y. (1998, May). A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem, Transportation Science, 32(2), 142-162.
4. Florez, H. (1986). Empty-Container Repositioning and Leasing: An Optimization Model, Ph.D. Dissertation, Polytechnic Institute of New York.
5. White, W. W. (1972). Dynamic Transshipment Network: An Algorithm and its Application to the Distribution of Empty Container, Network, 2, 211-236.

2004年08月31日收稿

2004年09月30日初審

2005年03月03日複審

2005年06月30日接受