

定期航商海上貨櫃運送路徑策略性規劃 之研究

STRATEGIC PLANNING FOR TRANSIT ROUTES OF SEABORNE CONTAINERS DELIVERED BY THE SHIPPING LINES

盧華安 Hua-An Lu¹

簡秉民 Ping-Min Chien²

(98 年 8 月 12 日收稿，99 年 1 月 11 日第一次修改，
99 年 3 月 23 日第二次修改，99 年 6 月 17 日定稿)

摘 要

貨櫃運送路徑規劃乃定期航商針對內部資源進行統整籌劃的重要議題，其必須依照航商所訂的航線繞程與船期，在滿足貨櫃起迄運送需求條件下，安排適當之載運路徑，其間甚至可能需要經由不同航線轉運。本研究從策略性層次，根據問題特性設計適當之網路圖形，據以建構數學規劃模式。此模式在系統最佳化的概念下，可考慮航商運送成本、貨櫃運送時間和艙位容量之間的抵換關係，進而決策出各起迄港口對最適單一運送路徑，以及需要轉運者之最佳轉運港口。本研究以某亞洲近洋航線業者之經營背景為例，利用最佳化套裝軟體 CPLEX 進行實證，求解演算績效堪稱良好，決策結果除能獲知最少運送總成本外，亦可推算出每一港口對貨櫃之單位運送成本、運送時間以及等候轉運時間。

關鍵詞：貨櫃運送路徑；轉運；數學規劃模式

-
1. 國立臺灣海洋大學航運管理學系副教授（聯絡地址：202 基隆市北寧路 2 號國立臺灣海洋大學航運管理學系；電話：(02)24622192 轉 3431；E-mail：halu@mail.ntou.edu.tw）。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士。

ABSTRACT

Container transit path planning is a vital issue in which liner carriers have to integrate many inner resources. According to the rotation and schedule of a carrier's lines, this issue is to arrange the suitable delivery routes for all cargoes satisfying the carrier conditions of each origin-destination port pair. The transit path might require transshipment between lines. This research follows the properties of the strategic planning problem to design a network graph for the formulation of the mathematical programming model. This model considers the trade-off between delivered costs, transit time and slot capacities with system optimization. The results can obtain an optimized transit route for each port pair and the transshipped ports for those required port pairs. This research conducts a case study courtesy of a company operating Asian short sea services. The performance of solving by optimization commercial package CPLEX is quite good. The minimized total delivered costs, unit delivered cost, transit time and transshipped time of containers for each port pair can also be discovered.

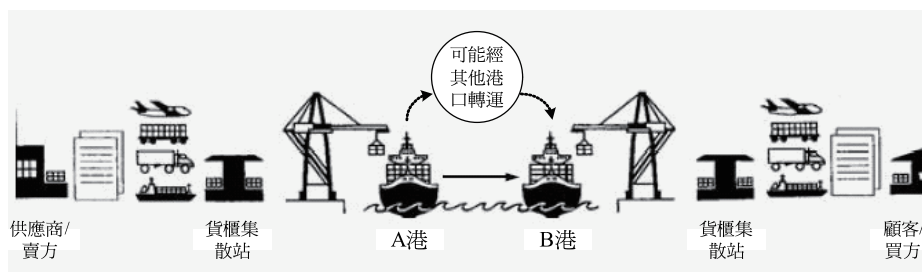
Key Words: *Container transit path; Transshipment; Mathematical programming model*

一、前言

產業全球化為國際性貨櫃運送作業帶來革命性的改變，同時也大幅增加了連結運送流程中各相關單位的產業價值。尤其在運送過程中扮演關鍵角色之定期航運業者，近年來必須藉由垂直運送作業的整合，以及橫向同業間之兼併 (merge and acquisition) 或策略聯盟 (strategic alliance)，才能維持在產業中既有的競爭優勢。面對託運人越來越廣泛的服務範圍，以及同業間越來越同質化的服務內涵，定期航商應更重視內部作業的資源規劃。貨櫃運送路徑的安排，即是需要整合拖車、車架、儲位、艙位、船期、碼頭裝卸與轉運等作業資源的重要課題。完整的貨櫃運送路徑安排，乃是針對每一不同起迄地點之貨櫃，設計適當之載運路徑，其可能包含不同運具系統 (如卡車、火車、船舶) 與終站 (如貨櫃集散站和港埠)，以利相關單位執行實際之運送作業。以整櫃運送而言，從起點至終點所需經過的流程，包含出貨工廠至貨櫃集散站、裝櫃港口、轉運港口、抵達港口、卸櫃碼頭、貨櫃集散站至收貨工廠 (如圖 1 所示)。

但定期航運業者是否經營上述完整的運送流程，仍需考慮所面對的市場經營環境，而有陸運段的取舍；因此其收貨的服務範圍有可能涵蓋戶到戶 (door to door)、集散站到集散站 (depot to depot)、港到港 (port to port) 或任意三者間的組合。尤其貨主在進行貿易條件的訂定上亦有選擇裝、卸貨港口的權利；故而最基本的海上段運送，才是定期航商最主要的服務範圍。易言之，貨櫃在海上運送途徑的規劃，才是定期航商針對內部資源進行統整規劃的主軸，而其規劃內容需配合自己所訂定的航線繞程與船期，始能送達卸貨港口，其間甚至可能需要經由其他港口轉運。建立海上運送與轉運路徑將影響航線之艙位配置，故航運公司都設有專責單位，在進行適當規劃後分送相關單位，作為運務與業務推展之依

據。尤其貨櫃運送路徑規劃，除可提供貨櫃調度與作業人員進行配載路線安排外，亦有利於各地業務人員在推廣業務時，明確定義運送服務價值，如貨櫃運抵時間、裝卸櫃之時日、運送船舶之條件、艙位安排之可行性等；對託運人而言，亦能使其具體掌握整體服務概況，利於貨物抵達目的港時，進行後續相關安排與處置。



資料來源：修改自 International Trade Incoterms 2000.

圖 1 貨櫃物流運送流程

良好之海上貨櫃運送路徑規劃有助於提升航商運送貨櫃之順暢性，但實務上由於需求之起迄港口對（以下亦簡稱為港口對）過多、運送需求難以估計、運送成本估算的繁複性等原因，造成航商規劃內容無法兼顧各項因素，而較借重依往的經驗或利用概略性評估結果做成決策，無法就上述特性予以整體性考量，此將影響航商之營運成效與資源效率的發揮。有鑑於此，本研究試圖就系統最佳化之概念，建構可運用於策略性運送路徑規劃之數學模式，在運送需求和航線網路已知下，協助航商決策在滿足上述特性下之各港口對的最佳貨櫃運送路徑，並分析航商在進行貨櫃運送路徑規劃結果中，所產生之轉運時間、港口對單位貨櫃運送成本、轉運相關成本及部分參數對貨櫃路徑規劃結果之影響。除範例分析探討主題之特性外，為考量實證之完整性，研究案例以一家亞洲近洋航線公司（以下簡稱為 T 航商）現有之 20 條航線規模為例進行實證分析。但在運送單位上，貨櫃均以 20 呎標準櫃（twenty-foot equivalent unit, TEU）表示，且針對重櫃運送路徑進行規劃，空櫃運送或調度暫不列入本研究範圍。

二、文獻回顧

近代對貨櫃航運之運送觀念有諸多探討，本節首先介紹此一部分之內涵。貨櫃運送路徑規劃最主要目的，乃在充分利用艙位資源滿足市場所需，在以往文獻中出現與艙位資源分配有關之主題，包括貨櫃排程、貨櫃調度和艙位分配規劃。貨櫃排程正是與本文相同角度，探討不同港口起迄對貨物之運送途徑；貨櫃調度除重櫃之運送外，亦考慮空櫃之支援，因貨櫃可重複使用，對於重櫃櫃種之選用亦會影響空櫃支援之流向；艙位分配規劃偏重港

口對所能分配到的可用艙位空間，以利不同收益櫃種的選取。以下分別回顧相關文獻成果。

2.1 貨櫃運送觀念

定期航運為一全球性產業，航商若能提供更完整的服務運送網路予託運人，則在市場上將更具競爭力，加上近年來海運產業已進入微利產業，許多航商開始整合海陸運輸以增加其市場地位。然而服務網路提供範圍，將影響航商營運成本，航商必須有所取捨。Notteboom^[1]嘗試歸納航商在制定其運送網路時之考量因素，分析在不同的海、陸整合運送網路下之成本模式，並找出不同情境下最適合的運送方式。

Notteboom^[2]以航商角度探討航運服務時間的重要性，歸納影響船期制訂之主要影響因素，同時解析船期延遲時可如何透過海、陸段的轉運予以因應，而讓託運人仍能接受有限的延遲。文中並以亞洲到歐洲間貨櫃運輸航線為例，分析各航商在船舶投入、船舶拜訪亞洲與歐洲區間港口數、船舶艙位、亞歐間運送時間上之異同，以及地理區位特性給予航商考慮貨櫃運送時之彈性。

Panayides^[3]認為託運人對於海運運送之衍生性需求，已從占有貨物演變為整合性需求，業者必須提供具有附加價值、即時、可靠與具有成本效益之運送服務。在定期航商部分，傳統觀念為航商主要提供港至港之運送服務，貨物在運送過程中尚未與物流運送業者整合，但今日在供應鏈與物流觀念盛行下，海運物流與供應鏈逐漸影響傳統之海運服務，航商需與港埠當局、內陸業者做進一步整合，以創造更高的服務績效，此績效主要方向為提供可靠、即時、低成本、空間效用之服務以滿足顧客所需。

Notteboom 與 Rodrigue^[4]認為航商以其角度設計貨櫃運送網路的同時，需考量託運人之需求，此需求反應在高頻次、直達航線之提供與運送時間上。尤其運輸時間對託運人而言至關重要，若航商能提供更快速之運送服務，加上配合高頻次與準確船期，將更能提升其競爭優勢。

Lopez^[5]針對美國貨櫃之複合運輸做一現況分析，其分析航商在選擇與各內陸運輸業者合作運送空櫃利弊，航商可選擇與鐵路當局、公路運送業者間合作，在實務上對於規模較小之航商無法對於鐵路當局享有較高之議價能力，而鐵路當局亦有最低載運量限制，因此小規模之海運業者可參考與公路業者訂約，藉由其完善的資訊設施協助空櫃調度。

Kim 等^[6]以韓國內路運輸網路為例，探討進出口貨櫃在港區與陸上段不同運具間之載運分配，以及不同地區貨物之進出口港埠的選擇。該國內陸主要運具為卡車與火車，作者以巨觀的角度，建立混合整數規劃模式 (mixed integer programming model)，以涵蓋全國之總運送成本極小化為目標，在港口容量與內陸運具容量限制下進行實證分析。

2.2 貨櫃運送路徑規劃（或貨櫃排程）

貨櫃運送路徑規劃在部分研究中^[7]亦被稱為貨櫃排程，其意義乃是航商為節省營運成本或提升營運效率，基於現有或未來之航線網路，對市場中所有重櫃起迄運輸需求，搜尋其在航線網路之最佳運送路徑，以期總貨櫃運送成本為最小。根據文獻作者分析，貨櫃排程與航商中長期營運策略仍具關聯性，可分為作業性、戰術性和策略性管理主題。作業性在即時提供貨櫃運送路徑，可依航商能否利用資訊系統迅速反應對自身有利之運送路徑，再分成靜態與動態分析，前者僅以各筆貨櫃託運時之資料與可用艙位數據進行安排，後者則利用通訊網路了解相關港口需求後據以分析。戰術性管理屬於短中期之營運課題，在貨櫃排程中納入利潤觀念之收益管理或艙位容量管理，進而檢討是否需要配合艙位使用率之分析結果採用短期性聯營手段。策略性則是可透過貨櫃排程分析結果，提供航線調整或航線聯營規劃之參考。此一分析強調貨櫃排程可提供航商不同規劃期程之營運策略參考，但貨櫃排程亦有可能因資訊的明確性不同，而有規劃內涵之差異，此亦為本文後續章節欲進一步分析不同層次所可能衍生出之排程規劃課題。

邱明琦等^[8]設計航線與貨流轉運網路，以節線建模（arc formulation）之觀念建構重櫃排程模式，決策不同貨櫃起迄對在各航線之航段上運載的流量多寡，其考慮之限制式包含涵蓋轉運港口在內之所有港口之流量守恒限制式、航段容量上限，該模式為一成本極小化之具容量限制多元商品流量問題（capacited multi-commodity flows problem）。文中以一條自營、兩條聯營之遠洋航線進行 22 個起迄港口對之簡例分析，絕大部分的起迄對均由一條航線直運，僅一個起迄對因聯營航線容量已經填滿，而需利用主航線再予運送該起迄對的其他貨櫃，但模式中所欲呈現之轉運功能，似未在簡例中呈現出來。不過，所得之結果可進一步分析航線上各航段之艙位利用率，對航商檢討該區域越洋航線之艙位使用情形提供一定程度之協助。作者所規劃之貨櫃排程模式僅為降低航商貨櫃總運輸成本，以充分發揮艙位資源效用，尚未納入從託運人角度思考之限制條件。

盧華安^[9]利用網路圖形概念，強調貨櫃排程之時空接續性，試圖為各貨櫃起迄港口對安排一最短運送時間之路徑。所建構之模式為最短路徑問題（shortest path problem），並應用於近、遠洋單向貨櫃排程之案例。其考量之角度，乃在航商提供給託運人最便捷的運送服務，唯僅考慮起迄港口對貨櫃運送時間，未納入航商本身之艙位資源限制、運送成本因素與轉運港口選擇。此規劃內容較適合提供給航商營業人員向貨主促銷公司之運送服務，且目前多數航商之網頁也已能提供類似資訊供使用人查詢。

Song 等^[10]建立一衡量世界整體與航商個體貨櫃運送效率之模式，模式中分別以極小化未指派運量與極小化總運輸成本為目標式，配合全球主要航商所提供之航線與容量限制，進行學理上的載運效用評估。由於實際之數值分析為一龐大之數學規劃問題，作者設計啟發式演算法（heuristic algorithm），以最少可行服務之需求運量先行指派以求出近似解，再進行增量調整。作者從驗證的年度裡發現，全球貨櫃的運送並未充分使用所有航商所提供的艙位資源。此一研究反映出在實務之貨櫃託運，並不以效率為最終之託運選擇，

其他因素如運價、託運慣性等才為實際左右託運人進行交運之主導因素。由於作者以全球巨觀性之概念建立模式，其可能不易應用於個別航商之分析與探討。

劉家豪^[11]亦利用網路圖形概念，構建一以貨櫃在陸起迄節點經陸運與海運運送之排程模式，並考量級距式港埠裝卸費率對貨櫃排程之影響。模式頗為複雜，若將實際之貨櫃運送規模納入，案例規模將相當龐大，因此作者僅以少數之起迄對與遠洋航線為例進行分析，並簡化港口之選擇性。實證結果雖可反映級距式裝卸費率影響航商於海上貨物運送路徑規劃，但太小的航線網路不足以體現其實際之轉運規模效果。

2.3 貨櫃調度

規劃航商載運貨櫃的移動方式，重櫃部分有其預定起迄之港口，空櫃則需視艙位空間與需求的急迫性決策其移動之方向與數量。嚴格而言，貨櫃運送路徑規劃應著重在重櫃之移動路徑安排；貨櫃調度則還要將空櫃的利用納入考量。兩主題均可因規劃之時間性而有長短期之研析內容，尤其空櫃仍須考慮租賃、還租與貨櫃運送需求量短期變動的頻繁性，增加規劃時之困難度，故學術上多以發展不同模式處理之。

中、長期空櫃調度規劃的研究中，Gao^[12]假設各港貨櫃流量在一規劃期間內為固定，且進口重櫃經拆櫃後，有一定比例可在規劃期內回補成可利用之空櫃下，以減少空櫃調度成本為目標，建構兩階段模式。第一階段計算出進口重櫃在內陸拆櫃後，再運抵回港成為可利用之空櫃時間，以求得各港口多、缺櫃情形；第二階段採用線性規劃模式決策最適貨櫃運送路徑，以滿足各港之空櫃需求，據此可制定各港在決策期間貨櫃的最適存量。文中之櫃種，均以標準 20 呎貨櫃計算。陳淑芬^[13]亦以類似的兩階段法進行處理，並將其所設計的程序應用在越太平洋航線之空櫃調度。Lai 等^[14]亦利用二階段啟發式解法解決中東地區與遠東地區之空櫃調度問題，目標為極小化總營運成本，其指出安全存量管理與建立港口空櫃指派順序，有助於減少空櫃調度營運成本。航商面臨空櫃不足時，除可將貨櫃由多櫃區調度至缺櫃區外，常在缺櫃區利用租櫃方式因應，若面臨空櫃過多情形可減少租櫃之使用，但一般貨櫃租賃公司均有設定還櫃限制量，實務作業的彈性應予考量。

國內對貨櫃調度之研究，將其分為遠洋航線與近洋航線，前者較著重區域性的調度^[15]，不同的大陸區塊可考慮較重要的進出口港埠^[16, 17]，在問題的規模上相對較小；後者需考慮區域內之貨櫃補充，問題規模可細微到各港埠之需求^[18]，但兩者所考慮的問題，均必須納入載具特性、多元運具特性、貨櫃分佈不平衡、各港口作業成本不一致、各地區提／還租賃櫃成本不一致和各地區在陸循環時間不一致等特性。時空網路 (time-space network) 是適合描述貨櫃動態流動之工具，該等研究均以其發展所建構之數學規劃模式。

國際間在貨櫃管理或調度之課題，分別從陸運與海運加以探討。在陸運方面著重於港與港之間的空櫃配置，或港與內陸貨櫃終站和貨主之間的流動與支援。最早有利用確定性的線性規劃模式^[19]，近期有採用分枝定限平行化解算策略 (branch-and-bound parallelization strategies)^[20]、成本最小化流動模式 (minimum cost flow model)^[21] 和整數

規劃模式^[22]求解確定性貨櫃調度問題。

海運之貨櫃調度，早期以確定性線性規劃模式探討其問題特色^[23]。Shen 和 Khoong^[24]將空櫃調度問題建構成決策支援系統，但僅考慮 20 呎標準櫃之調度。Cheung 和 Chen^[25]則發展兩階段隨機網路模式，以處理動態性貨櫃配置與調度問題。近期 Song 和 Carter^[26]從巨觀的角度，探索航商間採取合作性貨櫃供應策略。作者以航線是否共同載運空櫃、航商是否共享空櫃進行搭配，衍生出四種不同策略，並進一步建立該等流量平衡之數學規劃模式。文中並以東西向三大遠洋航線為例，進行實驗設計與求解，共同載運與共享空櫃之成本最能有效節省，其中單純共同載運則較單純共用空櫃之策略為優。

此外，Shintani 等^[27]結合航線規劃與空櫃調度問題，利用基因演算法 (genetic algorithm) 處理航商運送服務之網路設計。其目的為增加航程收益，並同時降低空櫃調度成本，最終模式輔助航商決策出最適船舶大小、船舶靠泊港順序、頻次、船速，亦同時求解出各港之重櫃、空櫃在港平均裝卸時間。但空櫃調度一般涉及網路化之支援，在單一航線設計的問題上，將其納入考量不一定必要。

2.4 艙位分配規劃

不同櫃種或不同託運訂單之貨物將為航商帶來不同利潤，故如何妥適安排艙位資源對其收益有實質影響。艙位分配問題亦隱含貨櫃運送路徑規劃問題，但須納入航商為增加收益之考量。李啟安^[28]運用數學規劃模式探討遠東到北美不同航線之艙位分配，但模式在櫃種假設上僅考慮 20 呎空櫃與重櫃，並假設同一起迄對貨櫃運輸價格均等。

Ting 和 Tzeng^[29]以單一遠洋航線為例，構建一整數規劃模式協助航商進行艙位分配，目的為增加艙位貢獻同時減少貨櫃調度成本，模式中將貨櫃區分為 20 呎空櫃、重櫃及 40 呎空櫃、重櫃，另外考量冷凍櫃插頭數的限制、艙位容量限制、40 呎艙位容量限制，最後利用 LINDO 6.0 軟體求得最適解。

Wong 等^[30]從海運承攬業者的角度探討貨櫃選擇、貨物與貨櫃搭配、貨物裝存於貨櫃內之位置等裝載問題。作者提出海運處理貨櫃在出口排艙，需考慮到貨櫃尺寸、貨櫃重量、穩定性、重量分配、貨物裝載貨櫃之次序與貨櫃裝卸等要素。作者所建構的模式，主要考慮到貨物本身之體積與重量，並給予貨物之裝櫃次序及重貨需裝載於輕貨底部以維持穩定性之限制，利用啟發式演算法求得可行解。

Ang 等^[31]藉由多維度之多個背包問題 (multidimensional multiple knapsack problem) 模式，處理航商在履行不同託運訂單之船次安排。模式以極大化總收益為目標，限制式考慮某時間區段內之某港口在各船次上可用艙量、裝載重量限制、該港空櫃可供給用量，並利用啟發式演算法求得一理想近似解。唯該模式僅考慮單一港口之出口貨物，在多船次艙位分配與航次選擇，未涉及整體航線的安排。

近期亦有研究^[32, 33]以利潤極大化為目標，發展結合艙位分配與貨櫃排程和空櫃調度之模式，在概念上貨櫃調度之結果即是艙位分配之決策，但較強調貨櫃產生的收益與運具

使用率。

Lu 等^[34]以單一航線為基礎，探討季節性自營航線之艙位分配，其所建立之決策模式可考慮航線上不同的起迄港口對的多種櫃種與空櫃集中於調配港口的載運量。從求解結果可知影響艙位分配結果之因素，最主要為貨櫃不同櫃種之潛在利潤、船舶可供運載之艙位容量與航線之繞程。另 Lu 等^[35]也從艙位分配規劃的角度探討共同派船聯營合作下，如何決策航線投入之最適船舶數量與艙位分派情形。

2.5 小結

由上述各小節之描述可知，艙位資源分配可從不同角度加以探討，貨櫃運送路徑規劃和貨櫃調度必須考慮航商整體之服務網路，但艙位分配目前較集中在單一航線或單一港埠。前兩者的規劃都較從成本極小化之觀念著手，艙位分配則較著重收益或利潤極大化。貨櫃運送路徑之探討，尚有結合艙位資源有效分配與滿足託運人所需之發展空間，本研究即從此一角度進行問題剖析與模式建構。

三、模式建構

由前述文獻回顧之整理可知，各相近主題有其涵蓋之範圍與問題特性，本節將先定義貨櫃運送路徑之規劃內涵與介紹實務單位之考量，據以設計適切之網路圖形輔助數學規劃模式之建構。

3.1 問題剖析

貨櫃運送路徑規劃強調重櫃之運送，所有重櫃之起迄港口為已知，但如何在運送過程中充分運用航商之航線安排與部署船舶之艙量，並符合託運人之期待與市場上可能之競爭，為此主題考量之內涵。本研究將前者之考量鎖定在運送成本、轉運成本與船舶艙量之應用；後者則以貨櫃運送時間之容許度作為必要之限制。

貨櫃運送路徑安排也可以規劃期程與資訊內容之明確與否，分成策略性、戰術性與作業性分析，分別敘述如下：

1. 策略性角度可定義在服務航線網路已知，此可納入長期合作之共同派船或艙位互租航線的可運用艙位，針對不同起迄港口對，設計符合公司內、外預期環境下之貨櫃排程決策。
2. 戰術層次則可有效將協力單位的合約內容納入考量，如轉運港口在裝卸費用上的優惠條件方式、短期性之聯營航商在艙位互換或艙位購買與否之合約考量等，以構成對自身較為有利的排程安排。
3. 短期的作業性安排，則需考量不同託運合約實質內涵，如運費、託運貨櫃之櫃種屬性、

運送之起迄港口等，同時也要容許相同起迄港口對之不同託運合約，可使用不同運送路徑之彈性予以規劃。

本文之研究主題鎖定在策略性之貨櫃運送路徑規劃，為確切了解航商在實務上之籌畫，本研究針對 T 航商進行深度訪談。該航商目前擁有 22 艘營運船舶，其中僅五艘為自有船，艙位供應量排名暫居全球第 29 位，年營業額為 180 億台幣。其所提供的 20 條航線，服務範圍雖僅集中在亞洲區間航線之經營，但仍有貨櫃運送路徑安排與轉運分配之問題，需進行事先規劃。

T 航商在安排貨櫃海上運送路徑，首先面對的是運送時間，由於其他航商競爭者眾，在相同港口對所提供的貨櫃運送時間往往相去不遠，但在特別的市場上，航商有其快速運送的必要，就是一般的快船服務。航商對忠誠客戶的不二法寶，就是穩定與準點的船期。其次，內部在面對無法直運的市場上，對於轉運港口選擇之考慮因素，除了從成本、櫃量需求、船期時間和貨櫃轉運便利性的角度出發外，尚有其他質性的特徵，如作業效率、作業可靠度、資金周轉便利性、裝卸公司對臨時要求的配合度等因素。其中成本所涵蓋範圍主要為港埠費用與裝卸費用；在櫃量需求方面需衡量轉運港口是否也有適當的託運量，以形成港口裝卸之規模經濟，獲得有利的價格條件。至於船期時間方面考慮選定此轉運港是否有利其在後續轉運規劃上時間之節省；而轉運便利性則集中於該港資訊作業與後端作業的效率與正確性。此外，近洋航線服務所灣靠港口數一般較遠洋航線為多，除了同業的競爭外，亦與貨源的考量有深切的關係。

T 航商在實際貨物收受流程上，已有電腦軟體系統作輔助規劃，唯系統尚無法兼顧多方面之規劃需求。綜整而言，從 T 航商之運作內涵可歸納貨櫃海上運送路徑規劃之特性如下：

1. 航商需考慮託運人對貨櫃運送之要求，除了安全性以外，貨櫃運送時間應受重視，但此運送時間要求仍受市場競爭者之影響。
2. 貨櫃運送路徑規劃，最重要是轉運的順暢性，尤其應考慮轉運港口之選擇與轉運航線間之時間配合，並盡量減少貨櫃轉運之等待時間。
3. 除了考慮時間影響因素之外，尚需考慮到船舶之容量限制，每一航段上之貨載，均不能超過船舶最大載重噸或艙位數。
4. 在成本方面，航商當然追求運送成本的極小化，但仍須兼顧艙位之利用與投入船舶之成本有效性。
5. 因為轉運港口之運量（包含進、出口與轉口）最好具有一定規模，利於航商與裝卸公司談妥裝卸費用或折扣方案，航商亦會事先評估主要的轉運港口，安排大部分航線拜訪，因此轉運路徑安排可預先確定可經過之轉運港口。但因轉運港口之選擇有綜合性的考量，可於貨櫃排程規劃前即予設定。

3.2 網路圖形建置

定期航運航線循環週期較長，港口之靠泊頻次通常都以週計，欲達成每週定期與固定頻次服務，往往需要多艘船舶共同部署於同一航線。反之，每艘船舶被部署於特定航線後，除特殊情形外，將固定於某航線上持續提供運送服務。因此，各船舶之貨物運送均具獨立性，同一航線各船舶之營運亦具分割性。

為利於建構上述特性之數學規劃模式，本研究設計一網路圖形予以協助。此一網路以各航線之長期船期表 (long-term schedule) 為基礎，將各航線列出單一循環週期之長度，建立各靠泊港口之節點，並依序以節線連結，之後再以節線連結最後之港口節點與第一港口節點，予以形成循環航程。此外，貨櫃應在船舶進港前完成準備，故上述港口節點之屬性，僅包含到港之港名、每週之靠港週日與時間。港與港間連結節線之時間長度，除運送時間外，仍涵蓋節線尾點 (tail node) 港口之在港時間，循環航程使用此一時間屬性計算，仍可維持航線時間安排之正確性。所有循環航程之節線，統一稱為航行節線。

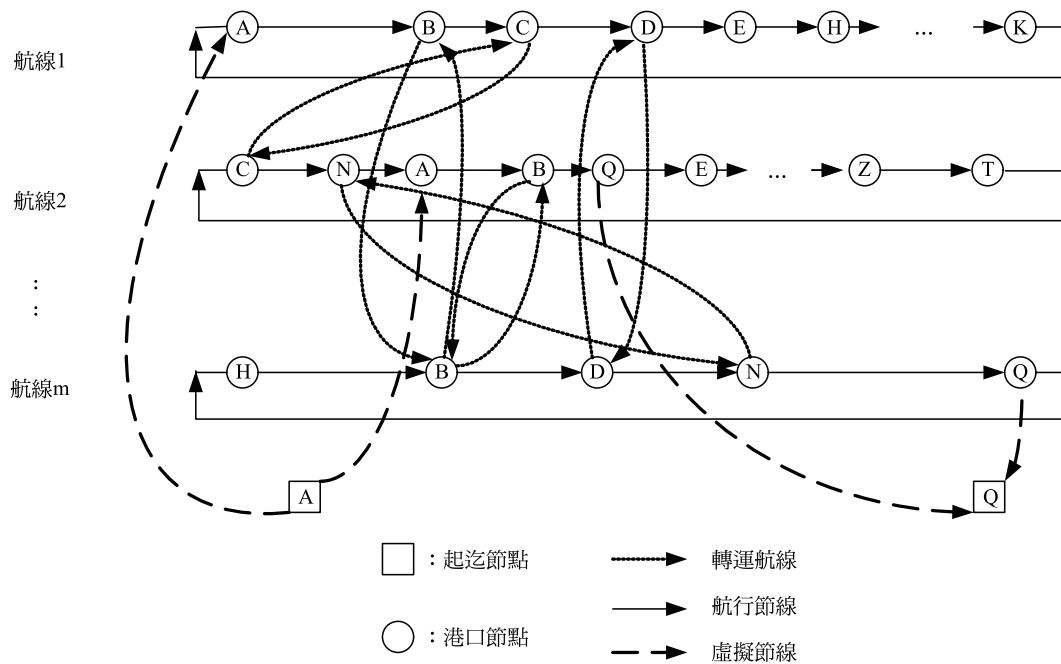


圖 2 週班航線服務網路圖形

其次，各航線間之船舶於行駛間如有停靠相同港口，即可以雙向節線分別表示兩航線之間貨櫃互相轉運的可行性，但此類轉運節線之時間長度計算，需以節線之頭點 (head node) 的進港週日、時間與尾點的做比較，此一時間長度即為兩航線以該港作為轉運，所需等候

之轉運時間，故兩節線之時間長度不一定相同。基於歸納 T 航商之第 5 點特性，本研究實證時僅就預先選定的可轉運港口，在拜訪航線間建立此一轉運節線。圖 2 為此一航線網路圖形之示意，其中航線 1 至航線 m 均已被表示成循環航程，節點依各靠港港口列出，各航線間轉運港口 B、C、D、N 之轉運節線表示均為雙向。此一網路圖形中之節點並無時間排序之必要性，而是以航線靠泊港口之順序替代，並形成一循環性網路。

針對不同起迄港口對之使用，需再建立一對虛擬之起迄港口節點，由虛擬起港節點以節線連結各航線上與起運港相同之港口節點；而各航線上與迄港相同之港口節點也以節線連結虛擬迄港節點，如圖 2 中 A 至 Q 之起迄港口對的表示。此等連結的虛擬節線時間長度均為 0，但可代表貨櫃起迄港之裝卸，進而可賦予裝卸成本為節線成本。當考慮多個不同的起迄港口對，即需以相等數量之起迄節點對加以表示。

3.3 模式內容

介紹本研究所建構之數學模式前，彙整必要之假設如下：

1. 航商之航線為固定已知，且各港口對之運送需求已知，以 20 呎標準櫃表示。
2. 模式中不考慮空櫃之調度安排，僅針對重櫃進行路徑規劃，且各港口對僅規劃一條運送路徑。單一運送路徑方便航商了解每一港口對之單位運送成本，作為定價或審查收益之參考。多重運送路徑可充分了解艙位有效使用的安排，值得後續研究進一步討論。
3. 各港口對之最寬鬆的運送時間為已知。
4. 模式中之成本計算，均與運送櫃量成線性關係。
5. 轉運港口之貨櫃等候容量為無限。

模式符號之定義如下：

(1) 標記與集合：

i, j ：節點標記，此包含圖 2 中所列之航線港口與多個起迄節點， (i, j) 即表示節線。

k ：此為明確表示各不同起迄港口對之標記，可與其起迄港口節點對應。

$O(k)$ ：第 k 個港口對之起港港口節點。

$D(k)$ ：第 k 個港口對之迄港港口節點。

A ：所有節線之集合。

S ：所有航行節線之集合。

T ：所有 (2) 決策變數：

(2) 決策變數：

x_{ij}^k ：表示第 k 個港口對之貨櫃在節線 (i, j) 之路徑流量。

(3) 參數：

c_{ij} ：表示 (i, j) 節線上貨櫃流動之單位成本，後續將說明各不同節線之成本設置內涵。

f^k ：為 k 港口對之貨櫃預估運送量，以 TEU 表示。

t_{ij} ：表示節線 (i, j) 之節點 i 與 j 間的時間間距，若 $(i, j) \in S$ 表示航行與在港時間之和；若 $(i, j) \in T$ 表示轉運之等待時間。

U_{ij} ：為 (i, j) 節線上最大載運量，因 $(i, j) \in S$ ，故其亦為節線所屬航線的部署船舶之可載運容量（以 TEU 計算）。

τ^k ：為第 k 個港口對貨櫃運送服務時間上限，此可依航商對市場之了解加以設定。如從學理上來看，亦有如何尋求最少運送時間之方式^[9]，可參考衡量作為上限之設置。

利用圖 2 之網路概念，以節線建模觀念，建構系統最佳化之貨櫃單一運送路徑數學規劃模式如下：

$$\text{Min. } \sum_k \sum_{(i,j) \in A} f^k c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{\{j: (i,j) \in A\}} x_{ij}^k - \sum_{\{j: (i,j) \in A\}} x_{ji}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } i = O(k) \\ 0, & \text{otherwise} \\ -1, & \text{if } i = D(k) \end{cases} \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in \text{SUT}} t_{ij} x_{ij}^k \leq \tau^k \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_k f^k x_{ij}^k \leq U_{ij} \quad \forall (i,j) \in S \quad (4)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j), k \quad (5)$$

貨櫃運送路徑規劃考量的重點，在滿足運送時間與載運容量之要求條件下，尋求各港口對之最適運送路徑，期使系統中總貨櫃運送成本最少。式 (1) 為第 k 個港口對運送成本總和，其考慮航行節線、轉運節線與虛擬節線上之成本，航行節線之節線成本可涵蓋船舶營運固定成本與變動成本，但須以可承運最大櫃量加以平均分攤，以滿足假設 4 之條件。轉運節線之節線成本，則可涵蓋裝卸成本、倉儲成本、轉運文件成本與其他項目。虛擬節線上之節線成本，可設定為單位裝卸成本加上其他進出口作業所需成本。限制式部分，分述如下：

1. 流量守恆 (flow conservation) 限制：式 (2) 為網路上各節點之流量守恆限制式，在此限制式下，第 k 個港口對僅進行單一路徑規劃。
2. 可行路徑之最短運送時間限制：式 (3) 為各港口對貨櫃運送時間上限限制，運送時間之加總涵蓋航行時間與轉運等待時間。因僅作單一路徑規劃，故可將流動時間與流量相乘加總獲得總運送時間，此運送時間不得超過各港口對運送時間上限之設定。
3. 航段容量限制：式 (4) 說明流經每一航行節線之所有貨櫃流量總和，不得超過其可行容

量。此容量限制可依照航商在某一航線上所配置之船舶大小或航段特性進行適當設定，實務上可能以部署船舶之名目容量 (nominal capacity) 乘上某一比例，以考慮重量限制之影響。

4. 變數限制式：雖路徑流量在式 (2) 已界定為一條路徑，但因不同起迄港口對之路徑仍有可能共用航線，且因式 (4) 之載運上限限制，而造成小於 1 之非整數解，故必須限定節線之路徑流量變數非 0 即 1，如式 (5) 決策變數之 0-1 限制式。

模式內容涵蓋具容量限制多元商品流量問題之架構，但附加運送時間上限限制，可決策各港口對之單一貨櫃運送最佳路徑。倘若測試案例無法獲得可行解時，即表示有港口對之載運時間無法滿足，或載運需求無法在現有之航線網路以單一路徑運送至目的地，此可從不可行解之限制式違反與否，診斷出關鍵的港口對或航段。若為載運時間限制之關係，航商可考慮是否放寬運送時間上限限制；若為航段載運容量不足，則可思考是否減少對通過港口對之載運需求估計，或放寬航段容量以檢驗出應調整的載運容量上限，作為考慮是否調整部署船型之參考。當然，若問題的關鍵在於後者，航商亦可尋求其他多運送途徑之方式，以求充分利用艙位容量，此已不在本文限定的討論範圍。

由於上述模式中決策變數皆為 0-1 整數，故此模式亦屬 0-1 整數規劃問題。傳統上針對多元商品流量問題所設計之啟發式演算法^[36]，可作為研擬本節模式求解演算法之參考，但因該等方法基本上都頗為繁複，且現有最佳化商業軟體之發展，已可求解頗大規模之整數規劃問題，故本研究嘗試採用後者進行案例分析。

四、範例驗證

4.1 範例背景說明

在針對 T 航商進行完整測試之前，為驗證模式之正確性與探索相關參數對求解結果影響之特性，本研究先行選定該公司三條航線，即 JTK2、JKM 和 CMX，作為測試範例，三條航線之長期時間表為網路建構之主要依據。該三條亞洲近洋航線之灣靠次序與假設可用艙位，如表 1 所示。根據三條航線之服務範圍，可將其航線與地理位置之相關性對應如圖 3。此三條航線之地理分布，可約略區隔成三個分區：即東北亞之日本、韓國所屬港口；東亞之臺灣、香港與中國所屬港口；東南亞菲律賓、新加坡與馬來西亞所屬港口。

貨櫃運送成本之設定，航行節線成本採線性方式估算，以每日單位運送成本換算每小時運送成本，再乘上節線之時間長度。而每日單位成本之估算方法，則引用 Cullinane 與 Khanna^[37] 研究結果予以推測，其特色為航線部署船型越大，每日單位貨櫃作業成本越低，以符合船舶經濟特性。轉運節線成本主要分為裝卸成本與倉儲成本，貨櫃裝卸成本為航商提供，倉儲成本以 84 年之港埠貨櫃裝卸成本為基準，並以每年 5% 之通貨膨脹率估算今日之倉儲成本。虛擬節線成本則僅列計各港之裝卸成本。

表 1 測試範例之航線靠港順序與可用艙位

航線別	靠港順序	假設可用艙位 (TEU)
JTK2	東京-橫濱-名古屋-神戶-大阪-基隆-臺中-高雄-香港-蛇口-東京 (TYO-YOK-NGO-UKB-OSA-KEL-TXG-KHH-HKG-SKU-TYO)	840
JKM	大阪-門司-博多-釜山-陽光-基隆-高雄-香港-蛇口-巴生港-新加坡-佛柔-高雄-香港-蛇口-廈門-大阪 (OSA-MOJ-HKT-PUS-KWY-KEL-KHH-HKG-SKU-PKG-SIN-PGU-KHH-HKG-DKU-XMN-OSA)	820
CMX	蛇口-香港-馬尼拉北港-馬尼拉南港-高雄-蛇口 (SKU-HKG-MNLN-MNLS-KHH-SKU)	560

資料來源：航商提供

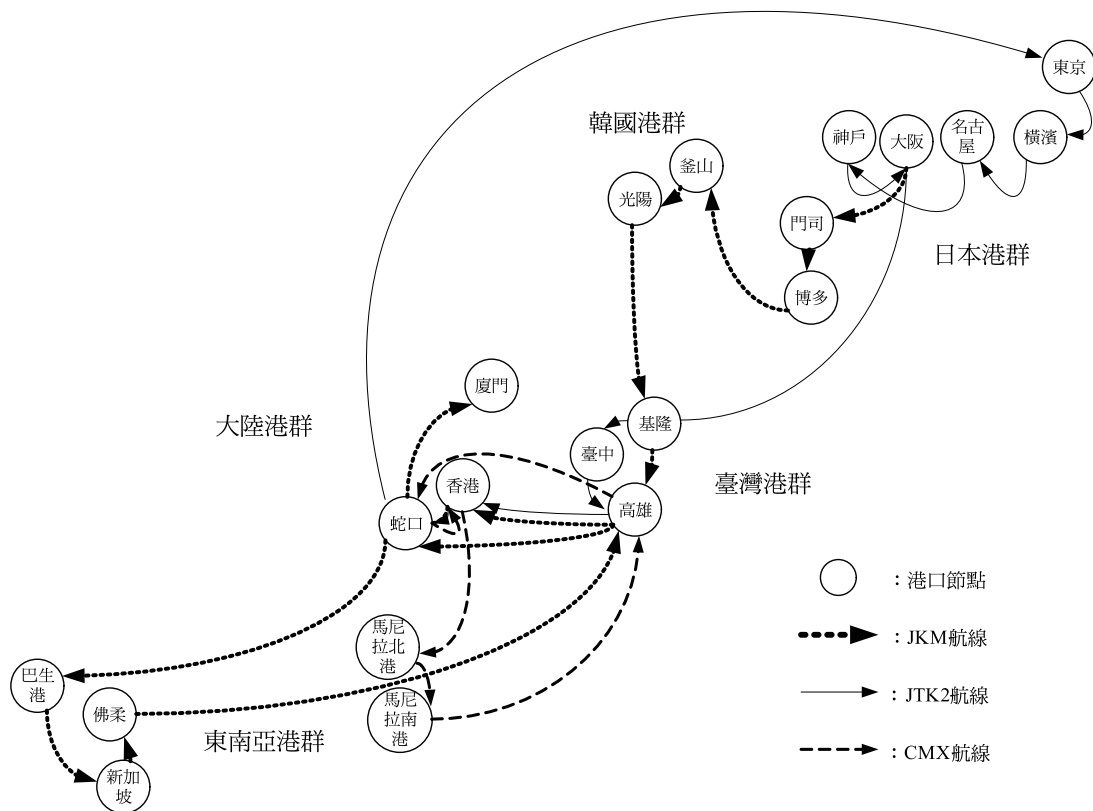


圖 3 測試範例航線與拜訪港埠之地理分佈

由圖 3 可觀察出部分東北亞與東南亞之間的港口對，在此三條經營航線下，需利用轉船運送方能完成，而測試設計上將轉運港口之可能選擇僅限定為香港、基隆、高雄，三港之單位裝卸成本分別為 60、168、60 美元，其中香港有參訪公司之特殊考量，採中流作業成本計之。

在測試範例中所涵蓋之港埠總計 20 個，故港口對共有 380 對，但為符合實務作業之特性，刪除東北亞、東亞、東南亞三區域中，位於同區域內之部分港口對，最後實際測試之港口對有 216 對。

載運需求部分，因未能取得航商提供之資料，乃以隨機方式產生，但需求量界於 6 至 24 TEU 之間，其分佈情形詳如圖 4 所示。運送時間主要依各起迄對之最短運送路徑之運送時間為限制，而部分起迄對因地理位置不同，而給予不同區間限制，如東北亞區內之起迄港口對給予 100 小時之時間上限，東亞至東北亞區與東亞區內之起迄對給予 400 小時之時間上限，其餘地區給予 500 小時上限。航行節線艙位供給上限設定，因考慮該航商實務上有其他航線也會利用轉運方式共用三條測試航線艙位，以及僅三條航線服務時各自所扮演的角色，而縮減其艙位供給量，於 JTK2、JKM、CMX 航線上分別給予 840、820、560TEU 之上限值。

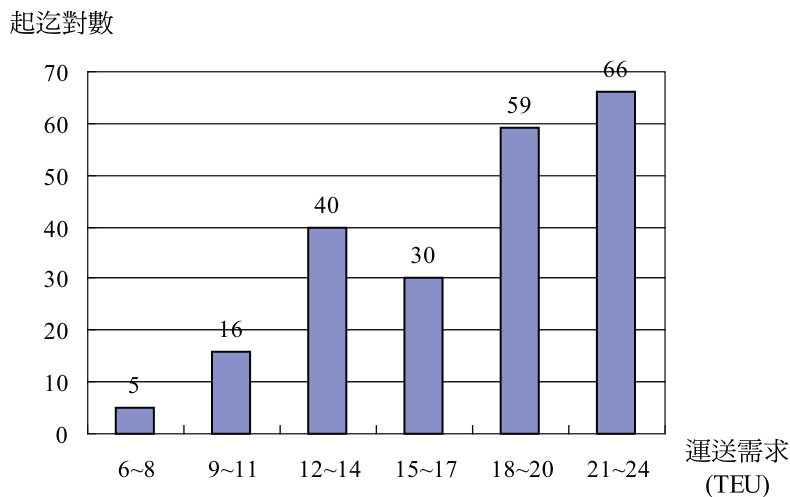


圖 4 測試範例載運需求分佈情形

4.2 模式測試結果

範例測試平台乃以 C 程式語言撰寫問題產生器 (problem generator) 後，利用最佳化商業套裝軟體 CPLEX 9.0 於 Pentium 4 個人電腦上進行求解。範例共有 216 個港口對，產生 26,784 個變數、2,364 條限制式，求解時間為 0.01 秒鐘，目標值為 1,238,333.13 美元。觀察貨櫃運送路徑規劃結果中，共有 85 對起迄需進行轉運，占總港口對之 39.35%，其餘均

為相同航線直接運抵。以下將求解結果分別對於貨櫃運送時間、貨櫃單位運送成本、貨櫃至轉運港等待時間進行分析。

1. 貨櫃運送時間

經由轉運之貨櫃運送時間分佈約在 100 至 400 小時，各港口對貨櫃運送時間求解結果詳見表 2 (表中港名可對照表 1 航線所列，本節後續各表亦同)，由其中可觀察出下列 4 點現象：

- (1) 轉運路徑中貨櫃運送時間最短之起迄為基隆至馬尼拉，轉運時間為 154 小時。在轉運港選擇上，本可選擇高雄與香港進行轉運，但規劃結果顯示以高雄港進行轉運之等候時間較短、成本也較低而獲選，故轉運成本影響路徑規劃結果。
- (2) 運送時間最長之轉運路徑起迄對為馬尼拉北港至韓國光陽港，運送時間共 468 小時 (約 19 天)。經觀察此結果之運送路徑，發現其在高雄港轉運等待時間過長，共需 122 小時，占據總運送時間 25% 以上，推測此現象發生原因為背景航線過少，以致可轉運航線選擇數過少，故需花費較多時間等待某特定航線。
- (3) 部分港口對去程、回程運送方式不一，如南向貨櫃港口對東京、橫濱、名古屋、神戶、大阪至蛇口在運送上皆透過轉運，但回程之北向貨櫃不需透過轉運，其原因為受到運送時間限制式約束所產生之結果。
- (4) 所有需轉運的港口對皆不透過基隆港進行轉運，其原因應為基隆港裝卸費用較高所致，且測試航線中 CMX 航線未包括基隆港，降低貨櫃於此港轉運機率，另外在高雄港與香港轉運之港口對比例為 78:7，高雄港占總轉運港口 91.76%，顯示在此三條航線為背景下，高雄港為航商偏好之轉運港。

2. 貨櫃單位運送成本

港口對貨櫃運送成本除以貨櫃流量，即可獲得單位貨櫃運送成本，此成本包括海上成本與在港成本，求解結果如表 3，其中可觀察出下列 3 點現象：

- (1) 成本多寡分佈與運送時間成正相關，因成本計算方式仍考慮到時間，故單位成本分佈與運送時間類似，單位成本值將隨航程距離拉長，由表上往下方，表左往右方之方向增加。直運港口對成本約分佈在 100 至 400 美元區間；轉運港口對成本分佈於 300 至 600 美元區間。
- (2) 運送路徑一旦經由轉運則運送成本將較直運成本高，如日本港口至蛇口去程之單位運送成本較回程為高；基隆至名古屋回程因須透過轉運，使其成本高過去程 2 倍以上。
- (3) 日本港口至新加坡成本較至佛柔港高，但運送時間較至佛柔港短，主要原因為新加坡裝卸費率較高所致。

3. 轉運港等待時間

模式中假設貨櫃在等待轉船時間將產生額外之倉儲成本，等待時間如表 4 所示，從其中可觀察出下列 3 點現象：

表 2 港口對運送時間表

單位：小時

(O,D)	TYO	YOK	NGO	UKB	OSA	MOJ	HKT	PUS	KWY	KEL	TXG	KHH	HKG	SKU	XMN	PKG	SIN	PGU	MNLN	MNLS
TYO	X		41	65	74					136	159	178	212	239 ^c		352 ^c	382 ^c	401 ^c	314 ^c	322 ^c
YOK		X	21	45	54					116	139	158	192	219 ^c		332 ^c	362 ^a	381 ^c	294 ^c	302 ^c
NGO			X	24	33					95		137	171	198 ^c		311 ^c	341 ^c	360 ^c	273 ^c	281 ^c
UKB				X	9					71		113	147	174 ^c		287 ^c	317 ^c	336 ^c	249 ^c	257 ^c
OSA					X					136		163	198	165 ^c		278 ^c	308 ^c	327 ^c	290 ^c	248 ^c
MOJ						X	16	35	54	104						296	326	345	258 ^c	266 ^a
HKT							X	19	38	88						280	310	329		
PUS								X	19	69						261	291	310	223 ^c	231 ^a
KWY									X	50						242	272	291	204 ^a	212 ^c
KEL	200	220	217 ^a	265						X			76	85		192	222	241	154 ^c	162 ^a
TXG		197									X									
KHH	158	178	199	223	186					21		X	34	64	99	165	195	214	94	102
HKG	108	128	149	173	150					244		313	X	14		130	160	179	62	70
SKU	94	114	135	159	122					258		285	13	X		107	137	156	75	83
XMN												250			X				377 ^c	385 ^a
PKG	320 ^c	340 ^c	361 ^c	385 ^c	344	377	393	412	430	480		158	194	222		X	30		298 ^c	306 ^c
SIN	290 ^c	310 ^c	331 ^c	355 ^c	314	347	363	382		426 ^c		128	164	192			X	19	268 ^c	276 ^c
PGU	271 ^c	291 ^c	312 ^c	336 ^c	295	328	344	363		407 ^c		109	145	173				X	249 ^c	257 ^c
MNLN	358 ^c	378 ^c	399 ^c	423 ^c	382 ^c	415 ^c		450 ^c	468 ^c			74	106	93	295 ^c	374 ^c	404 ^c	423 ^c	X	8
MNLS	350 ^c	370 ^c	391 ^c	415 ^c	374 ^c	407 ^c		442 ^c	460 ^c			66	98	85	287 ^c	366 ^c	396 ^c	415 ^c		X

註 1：a 轉運港口為香港；b 轉運港口為基隆；c 轉運港口為高雄。

註 2：空格為刪除之港口對。

表 3 各港口對貨櫃之單位運送成本

單位：美元

(O,D)	TYO	YOK	NGO	UKB	OSA	MOJ	HKT	PUS	KWY	KEL	TXG	KHH	HKG	SKU	XMN	PKG	SIN	PGU	MNLN	MNLS
TYO	X		247	235	239					281	244	241	305	408 ^c		462 ^c	514 ^c	489 ^c	460 ^c	465 ^c
YOK		X	232	219	224					265	228	225	289	392 ^c		447 ^c	502 ^a	473 ^c	445 ^c	449 ^c
NGO			X	227	232					273		233	297	400 ^c		455 ^c	507 ^c	481 ^c	453 ^c	457 ^c
UKB				X	196					238		198	262	365 ^c		419 ^c	472 ^c	446 ^c	417 ^c	422 ^c
OSA					X					278		232	299	361 ^c		415 ^c	467 ^c	442 ^c	452 ^c	418 ^c
MOJ						X	171	199	143	248						304	356	331	422 ^c	444 ^a
HKT							X	184	128	233						289	342	316		
PUS								X	136	241						297	349	324	415 ^c	437 ^a
KWY									X	165						221	273	248	357 ^a	344 ^c
KEL	311	315	564 ^a	330						X			240	238		272	324	299	390 ^c	412 ^a
TXG		256									X									
KHH	231	235	263	250	245					21		X	160	162	138	197	250	224	195	199
HKG	255	259	287	274	273					320		314	X	187		226	279	253	226	230
SKU	237	240	268	256	246					332		286	187	X		202	254	229	221	225
XMN												219			X				439 ^c	461 ^a
PKG	449 ^c	452 ^c	480 ^c	468 ^c	342	348	351	379	323	428		194	261	264		X	172		413 ^c	418 ^c
SIN	469 ^c	472 ^c	500 ^c	487 ^c	362	368	370	399		533 ^c		213	281	284			X	166	433 ^c	438 ^c
PGU	422 ^c	426 ^c	454 ^c	441 ^c	316	321	324	352		487 ^c		167	235	238				X	387 ^c	391 ^c
MNLN	442 ^c	445 ^c	473 ^c	461 ^c	455 ^c	460 ^c		492 ^c	436 ^c			184	249	230	348 ^c	408 ^c	460 ^c	435 ^c	X	196
MNLS	437 ^c	441 ^c	469 ^c	456 ^c	451 ^c	456 ^c		488 ^c	431 ^c			180	245	226	343 ^c	404 ^c	456 ^c	430 ^c		X

註 1：a 轉運港口為香港；b 轉運港口為基隆；c 轉運港口為高雄。

註 2：空格為刪除之起迄對。

表 4 轉運等候時間

單位：小時

(O,D)	TYO	YOK	NGO	UKB	OSA	MOJ	HKT	PUS	KWY	KEL	TXG	KHH	HKG	SKU	XMN	PKG	SIN	PGU	MNLN	MNLS
TYO	X													42 ^c		9 ^c	9 ^c	9 ^c	42 ^c	42 ^c
YOK		X												42 ^c		9 ^c	10 ^a	9 ^c	42 ^c	42 ^c
NGO			X											42 ^c		9 ^c	9 ^c	9 ^c	42 ^c	42 ^c
UKB				X										42 ^c		9 ^c	9 ^c	9 ^c	42 ^c	42 ^c
OSA					X									42 ^c		9 ^c	9 ^c	9 ^c	33 ^c	42 ^c
MOJ						X													33 ^c	30 ^a
HKT							X													
PUS								X											33 ^c	30 ^a
KWY									X										30 ^a	33 ^c
KEL			6 ^a							X									33 ^c	30 ^a
TXG											X									
KHH												X								
HKG													X							
SKU														X						
XMN															X				33 ^c	30 ^a
PKG	4 ^c	4 ^c	4 ^c	4 ^c												X			46 ^c	46 ^c
SIN	4 ^c	4 ^c	4 ^c	4 ^c						4 ^c							X		46 ^c	46 ^c
PGU	4 ^c	4 ^c	4 ^c	4 ^c						4 ^c								X	46 ^c	46 ^c
MNLN	126 ^c	126 ^c	126 ^c	126 ^c	122 ^c	122 ^c		122 ^c	122 ^c						122 ^c	135 ^c	135 ^c	135 ^c	X	
MNLS	126 ^c	126 ^c	126 ^c	126 ^c	122 ^c	122 ^c		122 ^c	122 ^c						122 ^c	135 ^c	135 ^c	135 ^c		X

註 1：a 轉運港口為香港；b 轉運港口為基隆；c 轉運港口為高雄。

註 2：空格為刪除之起迄對或直運不中轉。

- (1) 由馬尼拉南北港至東北亞之貨櫃在轉運港停留時間長，分別為 122 與 135 小時（約 5 至 6 天），轉運港為高雄與香港，推測原因為背景航線數過少，使轉運港口在銜接上消耗過多時間。
- (2) 馬來西亞與新加坡至日本港口轉運銜接效果良好，如巴生港、佛柔港與新加坡港至日本港口，轉運等待時間僅需 4 小時。
- (3) 其餘轉運港口對在港等待時間約 1 至 2 天，此等需要轉運之港口對之起港多分布於東北亞與東南亞，迄港多為馬尼拉南、北港。

五、實例測試

5.1 實證案例設計

本節將以 T 航商之亞洲區間完整規模航線進行實證，航線數共 20 條，服務範圍橫跨東北亞、東亞、東南亞及中東共 44 個港口，主要轉運港口為新加坡、香港、上海、高雄各港。而在運能方面，服務範圍遠至中東之航線，運能可達 5668 TEU。其餘亞洲區間航線部署 1000 至 2000 TEU 之船舶。值得注意的是，航商為減省船舶投入成本，在實務上有多條航線與其它航商進行長期的聯營合作，如共同派船、艙位互租與互換，本研究亦配合縮減其可用之艙位容量。案例測試之航線結構與預估艙位資料，詳如附錄。

有關貨運需求、航行節線成本、轉運節線成本、航行節線上之載運上限與服務時間上限之估算方式如下：

1. 運送需求

本研究對於各別港口對需求量給予預估流量，其產生方式為程式隨機產出，產出流量介於 0 到 40 TEU 之間。44 個相異港口，所能產生之最多港口對為 1892 對，此問題規模過於巨大，測試平台之記憶體容量恐無法負荷，復因該公司實際經營之運送並未涵蓋全體港口對，故本研究以該公司之 369 對起迄港口對為規劃範圍。

2. 航行節線與轉運節線成本

此成本參數設定方式與 4.1 節之設定方式相同。

3. 航行節線之載運上限

主要根據航線上服務船舶之名目艙位 TEU 數，乘上 0.7 作為可用艙量，此一係數為實證航商經驗的平均值；唯聯營之航線需配合航商所定合約予以適當調整。

4. 服務時間上限

各港口對主要以最短運送路徑之運送時間加上 20% 為服務時間上限，但其中有 281 對港口對（約全部的 3/4）之時間上限，都設為幾乎完全彈性的運送時間～2000 小時。

5.2 實證測試結果

實證案例共有 1,291 條節線，369 個港口對，故產生 476,379 個變數、22,389 條限制式，求得之目標值為 2,535,329.42 美元，求解時間為 60 秒。在 369 個港口對中，需要轉運的港口對共有 157 對，轉運比例為 42.55%，其餘均以同一條航線直運可抵。透過香港進行轉運之港口對共 63 對，透過上海進行轉運者共 39 對，新加坡港共 39 對，高雄共 19 對，其中有 3 對需經二次轉運。所有港口對之路徑規劃結果繁多，無法一一列舉，表 5 列舉部分需要經過轉運之港口對雙向的路徑規劃結果。東京與雅加達之間雙向都在香港轉運，但南向之等待轉運時間與運送時間均較北向為短，南向單位運送成本也較低，但因通過東京之航線不只一條，所以雙向之使用航線並不完全相同，且北上之運送時間已達既定之要求上限。

神戶與新加坡之間該公司並未安排直達之航線，上海為其南、北向轉運港口，雖然所使用的航線均不相同，但都藉助快船航線 (SJX 和 SJXW) 服務，南向運送時間已達既定上限，等待轉運時間也較少，不過單位運送成本也因運送時間較長而較南向為高。釜山與達曼間之安排與東京和雅加達相似，但轉運港口為新加坡，雙向之運送安排均未達服務時間要求之上限。

基隆至新加坡可直接由 JKM 航線運抵，北向理應也可以該航線運送，但模式決策結果以轉運方式縮短新加坡至基隆之間的運送時間。其間經高雄進行轉運，轉運等候時間約兩天多，單位運送成本也因多一次的裝卸而多於南向。

光陽至吉貝阿里需要經過高雄、上海兩次轉運，在航線串連之方向上先向南向再轉赴北向，最後由主要之 AMA 航線運抵，所費時間在 20 天左右，尚未達其運送服務時間上限，兩港轉運時間分別在 2 天與 3 天以內。然而，北向從吉貝阿里回到光陽，只透過一次轉運，轉運港口為新加坡，運送時間即為其運送服務時間上限。吉貝阿里港口之出口貨有 HGX 與 HGX2 兩條航線可供選擇，此一港口對模式選擇運送時間可較短之 HGX 航線。

阿巴布與姆拉只有 HGX2 航線可服務，故從基隆與該兩港間的運送路徑一樣南向均在新加坡港轉運等候，北向則需透過新加坡與高雄，才能在運送時間上限抵達基隆港，轉運港口等候時間亦相同。

藉由上述分析可知，運送成本與運送航程和是否轉運具有正向關係；即為求成本極小化，運送航程能越短越好，轉運會多產生成本，故也盡量避免。但若有服務時間上限，直運方式或轉運一次將無法達成該限制，若有其他可行方式，模式即會選擇後者，如阿巴布、姆拉至基隆之決策結果。從綜整的結果來看，目前本研究模式的確可反映出運送成本、服務時間之相互抵換 (trade-off) 關係。

上述結果因 T 航商提供資料有限，無法與實務想法作對等比較，但直運部分的港口對選擇性不高故大致相當，轉運部分之規劃差異稍大。下一小節將利用運送需求量與艙位變化敏感度分析，表現艙位容量之影響性。

表 5 實證案例部分港口對運送路徑規劃結果

港口對		運送 時間 (小時)	運送 路徑 (航線)	轉運港	等待轉運 時間 (小時)	貨櫃單位運送 成本 (USD/TEU)
南向	東京→雅加達	243	JHT/NIS	香港	8	458
	神戶→新加坡	288*	SJXW/ACS	上海	23	449
	釜山→達曼	628	ACS/HGX	新加坡	52	654
	基隆→新加坡	222	JKM			325
	光陽→吉貝阿里	492	JKM/TSS/AMA	高雄、上海	38、61	514
	基隆→阿巴布	615	JKM/HGX2	新加坡	112	626
	基隆→姆拉	694	JKM/HGX2	新加坡	112	698
北向	雅加達→東京	324*	NIS/JTK	香港	38	609
	新加坡→神戶	273	HGX/SJX	上海	60	419
	達曼→釜山	642	HGX/CKI	新加坡	163	524
	新加坡→基隆	210	JKM/TSS	高雄	51	412
	吉貝阿里→光陽	663*	HGX/JKM	新加坡	23	610
	阿巴布→基隆	657*	HGX2/JKM/TSS	新加坡、高雄	128、51	731
	姆拉→基隆	578*	HGX2/JKM/TSS	新加坡、高雄	128、51	730

註：*表示運送時間達到要求上限。

5.3 敏感度分析

此節將敏感度分析分為兩部分進行，5.3.1 針對貨櫃起迄需求量作一調整，5.3.2 則針對高雄港之裝卸費用予以改變，以探求運送需求與轉運成本對求解結果之影響。

5.3.1 調整港口對運送需求量

本研究為了解港口對需求量之提升，對於整體貨櫃運送成本與運送路徑規劃之影響，將 369 對港口對之需求提升 1.4、1.8、2.0 與 2.2 倍，求解得到的目標值亦呈現同倍數增加，求解之運送路徑並未有太大改變。此一現象顯示，本研究模式所得結果，確實能從最佳化之觀點進行決策；唯其中亦隱含在單一運送路徑下，艙位容量可能無法充分利用的疑慮。若航商容許相同港口對可有多條運送路徑，則有可能會形成更節省運送成本的運送方式。

但此必須在容量需求更為明確的情形下為之始有意義，此亦顯示在作業層次的需求下，多路徑貨櫃運送路徑規劃確有其必要性。

本研究藉由整體運送需求量提升至 2.2 倍後，再增加日本出口貨量之需求，增加方式為日本港口起運之港口對，在運送需求量增加 1.1、1.2、1.3、1.4 最終至 1.5 倍。求解結果顯示其目標值增額呈現線性遞增關係，每增加 0.1 倍需求量，總運送成本均略增 0.022 倍。轉運港口總數並未改變，但轉運港選擇略顯變化。以增加 1.5 倍為例，高雄港轉運增加 1 對，經香港轉運之起迄減少 1 對，其餘轉運港未發生變化。表 6 為其日本起運之港口對產生運送路徑變化之規劃結果彙整。其中之港口對單位運送成本皆增加，運送時間亦拉長，轉運港口仍以選擇香港為主，而航線選擇則因原先航線之部署船舶艙位容量不足 (JHT 航線)，使日本出口需求量增加之後須選擇其他航線替代，造成運送時間拉長與單位成本上升。此結果顯示艙位使用對運送路徑與成本之影響，航商若能掌握此一規劃結果之協助，亦能作為部署船舶是否調整之參考。

表 6 日本出口需求再增加 1.5 倍後與 5.2 節測試結果比較

起港	迄港	運送時間 (小時)	單位成本 (美元)	路徑選擇	轉運港
東京	香港	103	256	JHT	
		[212]	[305]	[JTK2]	
	廈門	155	344	JHT/JTV	香港
		[306]	[359]	[SJX2/HGX]	[上海]
	雅加達	243	458	JHT/NIS	香港
		[460]	[568]	[JTK2/NIS]	[香港]
	姆拉	639	750	JHT/HGX2	香港
		[688]	[765]	[JTK2/HGX2]	[香港]
橫濱	香港	114	255	JHT	
		[192]	[289]	[JTK2]	
	雅加達	254	458	JHT/NIS	香港
		[440]	[552]	[JTK2/NIS]	[香港]
名古屋	雅加達	274	486	JHT/NIS	香港
		[419]	[560]	[JTK2/NIS]	[香港]
神戶	雅加達	284	467	JHT/NIS	香港
		[326]	[496]	[JTV/NIS]	[香港]

註：[]表示日本出口需求量增加 1.5 倍下之結果。

5.3.2 調整高雄港裝卸費用

為了解港埠若提供折扣裝卸費用，是否會引起轉運港口選擇匯集至該港口進行轉運之現象，本研究以高雄港為例，假設其裝卸費用可由原本每櫃 60 美元，經一連串之折扣以每 10%調整至每櫃 36 美元，進行敏感度分析。求解結果顯示目標值之遞減，仍接近線性關係，每 10%折扣可減少 0.2%之總成本。整體轉運比例未發生改變，但轉運港選擇產生變化，以每櫃 60 與 36 美元為例，經高雄港轉運港口對由 19 轉增至 28 對，上海港由 39 減至 34 對，香港由 63 減至 59 對，經新加坡轉運之港口對總數未有變化。部分港口對之路徑規劃上亦發生轉變，表 7 為轉運港口改變港口對之路徑規劃結果比較。其中之港口對運送時間皆明顯拉長，但單位運送成本因裝卸費用下降之關係而下降，顯示表中之各港口對若以託運人角度考量，將不利在高雄港進行轉運，但若以運送人角度，則正好相反。運送路徑因轉運港選擇不同而產生變化，顯示航商若與港埠當局簽訂收費折扣合約，將影響貨櫃運送路徑規劃之結果，但若考慮託運人之角度，其轉變幅度仍會受限。此亦顯示本研究模式，可考慮轉運港口選擇、服務時間限制與運送成本之間的抵換關係。

表 7 高雄港裝卸費用調整 6 折下路徑規劃之變動

起 港	迄 港	運送時間 (小時)	單位成本 (美元)	路徑選擇	轉運港
巴生港	東 京	288	426	KMS,JTK2	香港
		[432]	[399]	[JKM,JTK]	[高雄]
新加坡	東 京	257	438	HGX,SJX2	上海
		[402]	[419]	JKM,JTK	[高雄]
神 戶	新加坡	288	449	SJX3,ACS	上海
		[317]	[424]	[JTK2,JKM]	[高雄]
青 島	神 戶	291	428	KMS,JTV	香港
		[439]	[415]	[TSS,JTK]	[高雄]
新加坡	橫 濱	271	443	HGX,SJX2	上海
		[310]	[424]	[JKM,JTK2]	[高雄]
名古屋	巴生港	280	416	SJX2,AMA	上海
		[311]	[407]	[JTK2,JKM]	[高雄]
馬尼拉北港	新加坡	268	445	CMX,KMS	香港
		[404]	[412]	[CMX,JKM]	[高雄]
馬尼拉南港	新加坡	260	441	CMX,KMS	香港
		[396]	[408]	[CMX,JKM]	[高雄]
佛 柔	青 島	346	397	CSI,TSS	上海
		[350]	[355]	[JKM,TSS]	[高雄]

註：[]表示裝卸費用 6 折下之求解結果。

5.4 求解效率討論

本研究之貨櫃運送路徑規劃模式，主要輸入參數為港口對數與航線數（或航線的複雜程度），第三節之範例求解時間均在 1 秒鐘以內，而第四節的實例求解時間也在 1 分鐘左右。若從變數和限制式數量觀察，一般整數規劃問題在此一規模下均需花費頗長的演算時間，本研究之求解效率頗佳，推斷其原因或許為案例之特性，透過本研究模式將諸多載運延續性問題，轉換為網路結構模式，而使路徑流量（0 與 1）之分支求解較不易形成退化（degenerate）情形。表 8 所列，為本研究在較小規模案例測試時之求解效率，大部分均能在極短時間內獲得最佳解。

表 8 小規模問題之求解效率

港口對數		航線數				
		8	9	10	11	12
119	變數	55811	65688	741995	82229	97937
	限制式	3461	3863	4108	4705	5361
	求解時間 (秒)	2	1	1	1	2
129	變數	60501	71208	78045	89139	106167
	限制式	3770	4202	4469	5112	5818
	求解時間 (秒)	3	2	2	2	2
139	變數	65191	76728	84095	96049	114397
	限制式	4093	4556	4843	5537	6293
	求解時間 (秒)	3	1	2	3	3
149	變數	69881	82248	90145	102959	122627
	限制式	4349	4842	5149	5889	6695
	求解時間 (秒)	28	7	8	9	4
159	變數	74571	87768	96195	109869	130857
	限制式	4630	5161	5490	6277	7136
	求解時間 (秒)	89	14	17	4	10

然而，仍有部分情況所需花費之解算時間較長，直觀的剖析其應與港口對的路徑選擇多寡有直接的關係。若服務時間上限多出最短運送時間甚多，且有較多運送路徑可選擇時，求解就需經過較多的判斷，即增加退化情形之可能性。為此，本研究擷取部分第四節實證案例中之內涵，將較緊密時間上限之港口對，集體增長不同天數以鬆放服務時間上

限。從表 9 的彙整可知，雖航線數量與港口對數量均減少下，仍有可能拉長求解時間，延長服務時間上限有可能增加解算時間，故上述的推論亦有其合理性。

表 9 延長服務時間上限之求解效率

案例	航線數	港口對數	原服務時間上限	延長服務時間上限			
				1 天	2 天	3 天	4 天
1	12	109	3 秒	25 秒	75 秒	12 秒	18 秒
2	8	159	89 秒	X	97 秒	X	85 秒

註：X 為未測試。

六、結論與建議

6.1 結論

貨櫃運送路徑規劃，乃是航商針對不同起迄港口對之貨物進行運載路線之安排，其牽涉航商內部資源的運用與滿足託運人或市場競爭之要求。不同的航商可能因經營範圍與業務內容的差異，導致對其貨櫃運送路徑規劃問題之規模與深度有所不同。本研究從全面性相關課題之連結，就其規劃期程的長短，分析策略性、戰術性和作業性的不同考量範圍，並以策略性角度，利用航商之循環服務航線設計網路圖形，適當表現出航程接續與轉運可行性之內涵，進一步建構數學規劃模式，所依據之實務理念雖僅訪談少數的公司，但其特性亦有值得參考之處。從求解的結果來看，模式雖為 0-1 整數規劃問題，但最佳化套裝軟體 CPLEX 已可有效求解變數、限制式均頗多的大規模案例。此一模式可在已知的航線與船期下獲得下列幾點之決策內容：

1. 可考慮航商運送成本、貨櫃運送時間和艙位容量之間的抵換關係，進而決策出各港口對貨櫃運送路徑，以及需要轉運者之較佳轉運港口。
2. 決策結果可推算出每一港口對運送貨櫃之單位運送成本多寡、運送時間、以及等候轉運之時間，此將有助於航商對現有航線安排之了解，也可作為針對特定市場思考不同運送條件下的研擬調整方向。
3. 可掌握轉運港口之轉運港口對分配、裝卸總量，有助於航商評估轉運港口選擇與裝卸費用議價之底線。

此外，從範例與實證結果中，可探索出若干實務安排之特性：

1. 運送時間限制確實會影響貨櫃運送路徑之安排，運送時間限制趨於緊縮，形同提升航商在特定市場之服務品質與競爭力，但相對伴隨較高之運送成本。從系統最佳化的概念來

看，服務時間限制較有彈性的港口對，其在航段上被考量之優先順序較低，有時當然也是總運送成本增加之主因。

2. 在艙位供給方面，航商提高艙位供給可減少艙位需求之排擠效應，但得付出較高的船舶部署費用。雖部署較大船型可能產生規模經濟效果，但首要條件必須要有較高之艙位利用率。此亦將影響貨櫃運送路徑規劃之結果，以及轉運與否或轉運港口選擇之改變。
3. 航商在有限的可轉運港，運送路徑選擇可能會因參數改變而影響轉運港口的選擇。但轉運港埠裝卸費用之調整，確可吸引部分港口對改由該港轉運，但必須衡諸服務時間上限、航線結構與艙位供給。因為改變轉運港之港口對雖減少單位運送成本，卻拉長了運送時間。
4. 運送需求在艙位供給許可下，最適之運送路徑不易改變，但若超過既有路徑之容量上限將會有所調整。由於策略性規劃模式僅決策各港口對一條運送路徑，因此航商對各市場運送需求量多寡的掌握亦顯重要。

6.2 建議

1. 本研究雖從策略性觀點建立分析模式，但所設計的網路圖形、模式內容、求解結果研判出的特性，均值得作為後續探討戰術性與作業性決策之參考。在戰術性主題上，可將轉運港口之優惠措施和短期之聯營條件納入考量，甚或將貨櫃運送路徑調整為多重路徑；而作業性之路徑規劃，宜從每一攬貨合約的角度，以利潤極大化的角度予以思考。
2. 本研究僅以單一路徑作為策略性規劃限制，除簡化模式複雜度外，在實務作業上亦有參考價值；但若強調充分使用艙位，可考慮以多重運送路徑之概念建構模式，唯此可能增加模式建構之複雜度，若考慮演算效能時也應留意可應用的實例規模。
3. 本研究模式在貨櫃櫃種上皆以 20 呎標準櫃計算，在實務上可將諸多參數利用比例關係將其他櫃種加以轉換而得。在後續不同層次的路徑規劃，均可適度將櫃種的差異納入考量，以期模式能更貼近實務。
4. 本研究之規劃模式乃以系統最佳化為前提，故應用於實務決策時，應留意參數的正確性，否則求解結果可能忽略特定市場之定位，而產生與實務觀念無法搭配之結果。
5. 與空櫃調度問題的結合，應是航商全面化的決策。若問題規模在可控範圍下，後續研究可將兩者做充分的整合探討；若否，重櫃規劃仍是優先順序較高的主題，可以其決策的結果作為空櫃調度之輸入，以利分層決策。

參考文獻

1. Notteboom, T., "A Carrier's Perspective on Container Network Configuration at Sea and on Land", *Journal of International Logistics and Trade*, Vol. 1, No. 2, 2004, pp. 65-87.
2. Notteboom, T., "The Time Factor in Liner Shipping Service", *Maritime Economic and Logistics*,

- Vol. 8, No. 1, 2006, pp. 19-39.
3. Panayides, P. M., "Maritime Logistics and Global Supply Chain: Towards a Research Agenda", *Maritime Economic and Logistics*, Vol. 8, No. 1, 2006, pp. 3-18.
 4. Notteboom, T. and Rodrigue, J. P., "Containerisation, Box Logistics and Global Supply Chains: The Integration of Ports and Liner Shipping Networks", *Maritime Economic and Logistics*, Vol. 10, No. 1, 2008, pp. 152-174.
 5. Lopez, E., "How Do Ocean Carriers Organize the Empty Containers Reposition Activity in the USA?", *Maritime Policy and Management*, Vol. 30, No. 4, 2003, pp. 339-355.
 6. Kim, H. J., Chang, Y. T., Lee, P. T. W., Shin, S. H., and Kim, M. J., "Optimizing the Transportation of International Container Cargo in Korea", *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, No. 1, 2008, pp. 103-122.
 7. 邱明琦, 「定期貨櫃航線網路設計模式之研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所博士論文, 民國 91 年。
 8. 邱明琦、陳春益、林佐鼎, 「海運貨櫃排程模式之研究」, **運輸計劃季刊**, 第 31 卷, 第 3 期, 民國 91 年, 頁 1-15。
 9. 盧華安, 「定期航線之貨櫃運送排程規劃」, **航運季刊**, 第 11 卷, 第 4 期, 民國 91 年, 頁 1-14。
 10. Song, D., Zhang J., Carter, J., Field, T., Marshall, J., Polak J., Schumacher, K., Sinharay, P., and Woods J., "On Cost-Efficiency of the Global Container Shipping Network", *Maritime Policy and Management*, Vol. 32, No. 1, 2005, pp. 15-30.
 11. 劉家豪, 「級距式港埠裝卸費率之航商最佳化貨櫃排程分析」, 國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文, 民國 94 年。。
 12. Gao, Q., "An Operational Approach for Container Control in Liner Shipping", *Logistics and Transportation Review*, Vol. 3, No. 3, 1994, pp. 267-282.
 13. 陳淑芬, 「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, 民國 90 年。
 14. Lai, K. K., Lam, K., and Chan, W. K., "Shipping Container Logistics and Allocation", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 46, 1995, pp. 687-697.
 15. 陳春益、陳昭吟, 「動態貨櫃調度模式之研究」, **運輸計劃季刊**, 第 22 卷, 第 2 期, 民國 82 年, 頁 231-258。
 16. 陳春益、余秀梅, 「次梯度資源導向分解法應用於動態貨櫃調度模式之研究」, **國立成功大學學報**, 第 28 卷, 民國 82 年, 頁 199-214。
 17. 陳春益、趙時樑, 「貨櫃調度決策支援系統之研究」, **國立成功大學學報**, 第 30 卷, 民國 84 年, 頁 177-197。
 18. 陳春益、馬開平, 「近洋貨櫃調度模式之研究」, **運輸學刊**, 第 11 卷, 第 1 期, 民國 88 年, 頁 1-16。
 19. Dejax, P. J. and Crainic, T. G., "A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in

- Freight Transportation”, *Transportation Science*, Vol. 21, No. 4, 1987, pp. 227-247.
20. Bourbeau, B., Craninic, T. G., and Gendron, B., “Branch-and-Bound Parallelization Strategies Applied to a Depot Location and Container Fleet Management Problem”, *Parallel Computing*, Vol. 26, 2000, pp. 27-46.
 21. Cheang, B. and Lim, A., “A Network Flow Based Method for the Distribution of Empty Containers”, *International Journal of Computer Applications in Technology*, Vol. 22, No. 4, 2005, pp. 198-204.
 22. Olivo, A., Zuddas, P., Francesco, M. D., and Manca, A., “An Operational Model for Empty Container Management”, *Maritime Economic and Logistics*, Vol. 7, 2005, pp. 199-222.
 23. White, W. W., “Dynamic Transshipment Network: An Algorithm and Its Application to the Distribution of Empty Containers”, *Networks*, Vol. 2, 1972, pp. 211-236.
 24. Shen, W. S. and Khoong, C. M., “A DSS for Empty Container Distribution Planning”, *Decision Support System*, Vol. 15, No. 1, 1995, pp.75-82.
 25. 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.
 26. Song, D. P. and Carter, J., “Empty Container Repositioning in Liner Shipping”, *Maritime Policy and Management*, Vol. 36, No. 4, 2009, pp. 291-307.
 27. Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., and Papadimitriou, S., “The Container Shipping Network Design Problem with Empty Container Repositioning”, *Transportation Research Part E*, Vol. 43, 2007, pp. 39-59.
 28. 李啟安，「貨櫃航商收益管理之研究—以艙位分配為例」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 89 年。
 29. 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.
 30. Wong, T. N., Chow, P. S., and Sculli, D., “A Heuristic for Sea-Freight Container Selection, Cargo Allocation and Cargo Orientation”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57, No. 12, 2006, pp. 1452-1463.
 31. Ang, J. S. K., Cao, C., 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.
 32. 許家瑋，「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 96 年。
 33. 陳曉儀，「結合艙位分配與貨櫃排程於定期航商之收益管理分析」，南台科技大學行銷與流通管理系碩士論文，民國 97 年。
 34. Lu, H. A., Chu, C. W., and Che, P. Y., “Seasonal Slot Allocation Planning for a Container Liner Shipping Service”, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 18, No. 1, 2010, pp. 84-92.
 35. Lu, H. A., Chu, C. W., and Che, P. Y., “Slot Allocation Planning for an Alliance Service with Ship Fleet Sharing”, *Asia Pacific Management Reviews* (Forthcoming).

36. Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., and Orlin, J. B., *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*, International Ed., Prentice-hall International Inc., New Jersey, 1993.
37. Cullinane, K. and Khanna, M., "Economies of Scale in Large Containerships: Optimal Size and Geographical Implications", *Journal of Transport Geography*, Vol. 8, 2004, pp. 181-195.

附錄 實證案例之航線與艙位供給

航線別	靠港順序	預估艙位供給 (TEU)
ACS	蔚山-釜山-上海-赤灣-新加坡-巴生港-馬德拉斯-巴生港-新加坡-蔚山	1027
AMA	大連-天津-上海-寧波-蛇口-巴生港-杰貝阿里-那瓦什瓦-巴生港-南沙港-大連	3968
CKI	上海-釜山-香港-雅加達-香港-寧波-上海	1027
CMX	蛇口-香港-馬尼拉北港-馬尼拉南港-高雄-蛇口	739
CSI	上海-寧波-香港-新加坡-那瓦什瓦-可倫坡-新加坡-佛柔-南加邦-香港-上海	1027
HGX	上海-寧波-廈門-香港-蛇口-新加坡-巴生港-可倫坡-那瓦什瓦-杰貝阿里-阿布答比-達曼-杰貝阿里-可倫坡-新加坡-上海	2170
HGX2	天津新港-青島-香港-蛇口-新加坡-巴生港-可倫坡-杰貝阿里-阿巴布-姆拉-那瓦什瓦-可倫坡-新加坡-天津新港	2170
JHT	大阪-神戶-名古屋-橫濱-東京-香港-南加邦-曼谷-南加邦-香港-大阪	1180
JKM	大阪-門司-博多-釜山-光陽-基隆-高雄-香港-蛇口-巴生港-新加坡-佛柔-高雄-香港-蛇口-廈門-大阪	1003
JTK	東京-橫濱-名古屋-神戶-大阪-釜山-基隆-臺中-高雄-香港-蛇口-東京	1105
JTK2	東京-橫濱-名古屋-神戶-大阪-基隆-臺中-高雄-香港-蛇口-東京	2933
JTV	大阪-神戶-門司-釜山-光陽-基隆-臺中-香港-胡志明港-越南國際碼頭-香港-蛇口-香港-廈門-大阪	926
KMS	釜山-仁川-青島-香港-巴生港-新加坡-香港-釜山	1919
NIS	天津新港-青島-釜山-香港-雅加達-新加坡-香港-釜山-仁川-天津新港	1050
SJX	上海-大阪-神戶-上海	470
SJX2	上海-東京-橫濱-名古屋-上海	470
SJXW	上海-大阪-神戶-門司-上海	470
SK2	上海-高雄-臺中-基隆-上海	634
THK	香港-基隆-臺中-高雄-香港	799
TSS	高雄-基隆-石碇島-上海-大連-青島-香港-高雄	847

