

定期貨櫃航商軸輻航線之選擇模式

The Selection Model of Hub-Spoke Routing for Container Liner Shipping Company

陳逸凱 (Yi-Kai Chen)^①、林振榮 (Jenn-Rong Lin)^②、張啟隱 (Ki-Yin Chang)^{③*}

摘要

本研究探討定期貨櫃航商應如何在貿易區中建構軸輻航線，才能使航商在總運籌成本最小的狀態下收送貨物，以滿足各港口的貿易需求，目的為決定適合的軸心港與集貨船繞行集貨港之航線。由於該問題為典型之「區位選擇」問題，在參考過去有關「區位選擇」與「區位途程」的文獻下，建構一個符合定期貨櫃航運特性之整數規劃模式，並利用 LINGO 軟體同時選擇出軸心港與集貨船航線。而模式之最佳解與貨櫃船之環繞式航線、樞紐輻射式航線模式所求出的解相比較，發現本研究模式在三者中具有最小的運送成本，顯示此模式的參考價值。

關鍵字：軸輻航線、區位選擇、LINGO、最小運送成本

Abstract

This study analyzes how container liner shipping companies select Hub-Spoke Routing in trade zones in order to meet the trading needs and manage the flow of goods at ports at a minimum total logistics costs. By reviewing the literature on “location selection” and “location routing”, an integer programming model of container liner shipping is constructed. The hub ports and navigation routes that go around feeder ports are determined by using the LINGO software. The optimal

^① 國立臺灣海洋大學商船學系碩士班研究生；E-mail: M98710016@ntou.edu.tw。

^② 國立臺灣海洋大學運輸科學系副教授；E-mail: jrjin@mail.ntou.edu.tw。

^{③*} 通訊作者，國立臺灣海洋大學商船學系教授；聯絡地址：20224 基隆市中正區北寧路 2 號商船學系；電話：(02) 2462-2192 轉 3019；E-mail: b0170@mail.ntou.edu.tw。

solutions obtained here are compared with the ones obtained in the cycle routing model and in the two-port shuttle routing model. The comparison reveals the model proposed in this study has the property of the lowest delivery cost and thus, demonstrates its own practical value.

Keywords: Hub-Spoke routing, Location selection, LINGO, Minimum delivery cost

壹、前言

近 50 年來貨櫃運輸興起後，因其裝卸貨物便捷與提高貨物安全的特性，貨櫃運輸被大幅利用於海運市場中，根據交通部運輸研究所 (2011) 所出版的「港埠進口貨物貨櫃化比率」及「港埠出口貨物貨櫃化比率」所示，臺灣地區於民國 99 年全年的進口貨物中，貨櫃貨物的價值為全部貨物價值的 49%，而重量約占全部貨物的 75%；在出口貨物中，貨櫃貨物的價值為全部貨物價值的 81%，而重量約占 93%。海運市場所提供的貨物運輸可分為定期航運與不定期航運這兩大類，定期貨櫃航運的特性為有固定航線、固定停靠港口、固定船期與穩定的費率，使託運人能立即明白航商所提供的資訊，以提高攬貨率。

近年來定期貨櫃航商為因應海運全球化，拓展航運的版圖，在建造船舶時，逐漸以船舶大型化、快速化為目標。在船舶大型化的趨勢下，若航商要減少運輸時所產生的成本，除了減少在港口的等候時間外，亦要減少不必要的航行路線及停靠港

口。因此，在定期貨櫃航線的經營上亦發展出「軸輻路網模式」，即主線與支線相互配合、連結的經營模式。也就是大型貨櫃船 (母船) 在整個航線區域內，僅選擇停靠幾個較大的港口，此類港口稱為軸心港 (Hub Port)；航線區內母船未停靠的港口，則由船型較小的船舶 (集貨船) 運送貨物，此類港口則稱為集貨港 (Feeder Port)。而航行於航線區內軸心港間的航線，稱為主線；繞行於集貨港間的航線，稱為支線，支航線藉由軸心港與主航線作連結。其軸輻路網形式包含混和多航段迴圈式航線、全球網狀航線、樞紐-輻射式航線等。航商藉由此種主線與支線相連，所構成的「海運軸輻路網」，可以使集貨港間由較小型的集貨船運送，以減少母船因停靠多個港口所產生的運輸成本，相較於所有港口皆由母船運送，若部分港口改由集貨船運送，則可降低運輸成本。另外，藉由母船裝載量大的優勢，貨櫃進行集中化作業，則可降低貨物的單位成本，達到規模經濟。

本篇以混和多航段迴圈式航線 (Mix-

Multi-Trade Cycle Service) 為研究範圍，建構一數學模式來選定適合的軸心港與集貨船繞行集貨港之航線，林光、張志清(2010)認為此種航線常用於大型航商之主航線外的支幹線航運方式，並將其支航線形式定義為迴圈式，多用於貨源密集的近洋航線中。而此類由軸心港分配貨物至集貨港的特性，恰如陸運上的車輛途程問題與區位途程問題。車輛途程問題的特色是求解車輛至每個需求點送貨的最短路徑，條件為在物流中心已知的情況下，車輛由配送中心出發，各需求點只經過一次，以繞行的方式至各需求點收送貨，是屬於短期的運輸規劃；而區位途程問題為車輛途程問題的延伸，不同之處為物流中心事先並未確定，求解時先選定幾個物流中心為候選點，以數學模式求出最適合的物流中心個數與位置，並同時求解出派車數量與車輛繞行的路徑，即在同時考量區位設置與車輛路線下，達到整體送貨的最大利潤或最小成本，屬於長期的運輸規劃。

隨著亞洲地區的經濟蓬勃發展，定期貨櫃航商的主要貿易區為遠東、北美、歐洲三區，為了使貿易順利發展、貨物頻繁交流，越洋的定期貨櫃航線便應運而生。而在船舶運輸時最常產生的成本包含：船舶停靠碼頭時的停泊費用、裝卸貨櫃的吊櫃費、船舶的固定成本與航行時所產生的變動成本，如燃油、電力等……。因此，若航商往返於各貿易區間收送貨，則在最小的運輸成本下，航行貿易區內最多的港

口、收送最多的貨量，達成最大的貿易規模經濟，將是一個重要的課題。本研究即是藉由軸輻路網之混和多航段迴圈式航線探討如何使航商在考慮港埠費用、貨物裝卸成本、船舶之固定與變動成本、距離及預期貨櫃量等因素下，以最小的成本收取貿易區中各港的貨物。另外，以往在探討軸輻路網時，學者常著重在軸心港已知的情況下，對集貨港進行路線指派；或是探討選擇軸心港的條件。本研究則藉由求解區位-途程問題的概念，建構一整數規劃模式，以同時選定適合的軸心港與繞行集貨港的船舶與路徑，使航商在運送貨物時，總運輸成本達到最小。

貳、文獻回顧

海運、陸運及航空運輸皆有大量關於路網排程的研究，本節將重點放在船舶與車輛的路網排程問題上，回顧與定期貨櫃航線排程、區位-途程問題之相關文獻，前者的重點包括定期貨櫃航運特性、海運軸輻路網及船舶航線排程；而後者的重點在於區位-途程問題及其基礎——車輛-途程問題。最後，以文獻回顧之結果做為建構本研究模式及案例的參考。

2.1 定期貨櫃航線排程

定期貨櫃航線排程即是規劃航商的運貨路徑、靠港順序，使船舶以最短的路徑

繞行需停靠的港口，令總營運成本最低。根據邱明琦等人 (2002) 的研究顯示，貨櫃排程可分為作業性、戰術性與策略性，其中策略性是指航線的規劃與建構，藉由排程分析後，可決定往後航線的營運方向及細部的營運策略，而戰術性與作業性即是包含在策略性內的貨櫃排程規劃。隨著船舶大型化的發展，軸輻式路網亦被應用於定期貨櫃的航線排程上。而航運的經營型態可分為定期與不定期航運，定期航運的特色為擁有固定的航線、船期及停靠港口，以貨櫃為託運人運送貨物，像國內的長榮、萬海等公司即屬於此類；另外，某些特殊也可分為定期與不定期航運。本節即針對定期貨櫃航線排程之文獻做一回顧。

Lu (2002) 曾對定期貨櫃做出航線排程的探討，利用旅行推銷員模式建構問題模式，在有航線周期的限制下，以兩階段的分枝限定法求解問題，求出定期航線排程的最佳配送路徑。陳春益、張永昌 (1997) 以國內某航商之美西至東亞 (越太平洋) 航線為例，利用設施區位選擇模式建構以最小成本為目標之混和整數規劃模式，並以 LINDO 求解，探討定期貨櫃船應如何選擇停靠港的問題。Ronen (1983) 將貨船分成定期船、不定期船及專用船三類，對其排程問題做整理回顧，並比較船舶與車輛在排程問題上的特色與差異。郭塗城、朱經武 (2000) 為探討靠港選擇因素對航線排程的影響，假設航線為單向航程，針對

五種不同容量的船舶，建構一靠港選擇模式，並利用 LINGO 軟體求解最大利潤。許志成 (1998) 以可用船舶、航次為限制，以最小成本為目標，並以時空網路輔助貨櫃排程，建構模式，再以拉氏鬆弛法、流量推擠法、網路單體法、梯度法求解模式之初始解，之後以流量分解法求得最佳的船舶航行路線。張斐茹 (2000) 以國際定期貨櫃航線為研究對象，以每個集貨港必須與軸心港相連為限制，建構二次指派的整數規劃模式，探討航線型態為軸輻路網時，定期貨櫃船之航線規劃與停靠港口之選擇，提供新的分析架構。游至誠 (2001) 以張斐茹 (2000) 之研究為基礎，建構一允許集貨港與軸心港可不直接相連之軸輻路網模式；同時選定最佳的軸心港位置，與船舶繞行集貨港的路線。謝幼屏 (2006) 探討在海運軸輻路網下，航商是否所有貨物須經由軸心港來轉運至集貨港，集貨港間是否可規劃航線做直接運送。盧華安、簡秉民 (2010) 建構一數學規劃模式來規劃可轉運的貨櫃運送路徑，該模式以考量運送成本、運送時間及艙位容量間的轉換關係為主要假設，並以滿足起迄貨櫃港需求為必要條件，其目的為規劃具策略性的觀點之貨櫃航線排程。該研究以亞洲地區之 20 個港口為研究範例，以 CPLEX 軟體來求得最佳解，據研究顯示，該模式可求得最小之總成本、港口間的單位運送成本、運送時間及等候轉運時間。廖于慧等人 (2005) 以建構具安排船期及轉運功能

之模式為目標，該模式為一混和整數規劃模式，主要考量主航線之各段航程時間、成本，及轉運航線之接續時間，並以船期最小化為目標。據該研究顯示，以船期之時窗限制而言，航商不應規劃太多轉運航線，應就主要航線規劃轉運航線即可，因若轉運的航線過多，則時窗效益會降低。

2.2 區位-途程問題

有關陸運上的路網排程研究，國內外的研究大都專注在旅行推銷員 (Traveling Salesman Problem, TSP) 與車輛-途程 (Vehicle Routing Problem, VRP) 問題，亦有部分研究專注車輛-途程應如何與設施區位選擇問題做結合，使總運籌成本達到最小，久之便發展出區位-途程問題模式。近年來有部分學者嘗試將上述問題模式套用在海運上。以下即針對區位-途程問題之相關文獻做一回顧。

陳惠國 (2009) 表示，車輛-途程問題 (Vehicle Routing Problem, VRP) 是節點與節點間路線所組合成的最佳化問題，以最低成本/最大利潤為目標建構模式，求解出車輛/車隊最佳化排程。模式建構時服從路線內需求量不大於車容量；車輛必由場站出發，以繞行排程的方式服務路線內之各需求點，服務完路線內之需求點後再回到場站；一個場站可派遣多部車輛等限制。韓復華、卓裕仁 (2001) 定義傳統的 VRP 問題是指在單一場站、單一車

種 (相同容量)、有車容量限制、固定的運輸成本與顧客需求等限制下，建構求解問題模式，使總路線成本最小化/利潤最大化。而區位-途程問題 (Location Routing Problem, LRP) 為車輛途程的延伸，陳春益等人 (2001) 提到，在設施區位問題中，假設車輛是直接將貨物由場站運送至各需求點，一輛車只服務一個需求點，非以繞行排程的方式運送，並以求解設施的適合地點及設施至各需求點之最短距離為研究目的。但如果為節省出車數量及派車成本，將運送方式由直接運送改為繞行排程，此類問題即稱為區位-途程問題。而區位-途程問題為車輛途程問題與設施區位問題的結合，特色為同時決定設置區位的地點與車輛的繞行排程路徑，使總體運籌成本達到最小，是屬於長期規劃的問題。其優點為解決了設施區位問題中，派車數量及派車成本過高的情況。而根據設施區位的特性及以往相關的研究，可將區位問題歸納成中點問題 (Median Problem) 及中心問題 (Center Problem) 這兩大類；至於區位途程解法的出現，最早可推至 1968 年，由 Webb (1968) 首先提出以節省法求解此類問題，Webb 以單一配送中心及 25 個需求點為例，經由節省法求解整數規劃模式後，得知車輛採用巡迴路徑的方式配送與車輛直接往返單一需求點與配送中心，其結果會有不同。顏上堯、藍世宗 (2003) 在不預設船舶的容量及數量下，對定期貨櫃

進行航線規劃，即以非線性的混合整數規劃建構車輛途程模式，再利用啟發式演算法中的節省法求出起始解，再以門檻接受法與大洪水法求出兩組解，加以比較何者為優，以求得近似最佳解。Ambrosino and Scutella (2005) 以客戶的需求量為基準，將客戶分成兩個群組，分別是大客戶與小客戶，兩群組的貨物分別由不同的方式運送，其中大客戶是以物流中心直接派車運送，而小客戶可選擇物流中心或區域轉運站來派運貨物，並在考量倉儲的存貨水準下，建構一混和整數之線性規劃模式，來求解適當的物流中心位置與車輛運送路線。周璟宇 (2003) 在規劃由工廠到配送中心再到零售商之貨物供應鏈系統時，將問題劃分成兩層，以工廠到配送中心為上層、配送中心至零售商為下層，兩層各建構一數學規劃模式。上層主要目標為選擇適當的配送中心位置，並以 CPLEX 求得最佳解；而下層為規劃具有時間窗限制的車輛運送路徑，並以禁忌搜尋法求解。曹餘偉 (2006) 以不同種類的車輛與相同規模的物流中心為對象，並以最小運送成本為目標，來建構一整數規劃模式，然後藉由節省法求得一組起始解，再以禁忌搜尋法 (Tabu Search) 求出適合的物流中心位置與派車路徑。另外，為驗證該演算法的有效性，作者另以 LINGO 軟體求得該模式之最佳解，驗證後顯示該演算法能有效地處理問題。Barreto et al. (2007) 以先規劃車輛途程再決定物流中心位置的方式，來求

解區位途程問題。首先以車輛的容量限制來將客戶分群，並以此為基礎，排定每輛車的繞行路徑，然後在物流中心的容量限制下，決定每個物流中心的位置及服務範圍。溫舜光 (2008) 建構一具有軟時窗限制的數學模式來探討分批送貨之區位途程問題，並以 LINGO 8.0 軟體求出正確解，以驗證模式的正確性。

2.3 小結

經過上述的文獻回顧後，可歸納出以下幾點結論作為後續研究的基礎：

1. 定期貨櫃航線排程可建構整數規劃模式，再利用 LINGO 12.0 軟體求得最佳解。然而，當運送的港口數變多時，較多的整數/線性規劃的決策變數將會影響求解的時間與結果。但在朱經武、周偉禮 (2006) 的研究中分別提到，在求解個數為 25 個以內，適合使用求解最佳解的方法來進行求解。
2. 區位-途程模式為決定物流中心位置與派車路線，經文獻回顧後發覺，亦有學者探討定期貨櫃航運之「區位選擇」及「車輛途程」問題，故只要符合定期貨櫃航運的特性，亦可將區位途程模式用於定期貨櫃航運中，故本研究參考「區位選擇」及「車輛途程」之相關文獻，建構出適用於海運軸輻路網之區位-途程模式。
3. 海運排程之各項相關數據為航商之機密

資料，不易取得，大多的研究數據由參考前人研究或經由訪問航商取得部分資料後，再加以推估而得。

4. 軸輻路網模式最早被運用於航空的轉機問題，亦可套用於定期貨櫃航運之軸心港 (Hub Port) 與集貨港 (Feeder Port) 所組成的網路中，而欲規劃海運軸輻路網中的軸心點位置，及由軸心港至集貨港的支線，可以利用區位-途程模式求解。
5. 特殊產業的專屬船舶，為配合公司的需要，只運送該公司的原料或產品，其經營型態可為定期貨櫃航運，亦適用區位-途程模式求解。

參、模式建構

由前述的文獻回顧為依據，並利用數學規劃技巧建構定期貨櫃航線排程問題之數學模式，以利後續案例的求解與分析，除了須符合區位途程問題之假設外，亦須符合定期貨櫃航運及海運軸輻路網之特色。3.1 節將說明模式的建構概念，以作

為模式建構之基礎，3.2 節將說明本研究之排程模式，包含基本假設、數學符號、參/變數及數學模式之意義，3.3 節說明模式的應用範疇與求解方式。

3.2 模式之建構概念

唐麗敏 (2009) 提到一種被稱為「兩端港航線」的越洋航線類型。該航線是假設有兩點：(1) 一區域內如亞洲有數個軸心港，且區域內的港口間沒有貨物往來，主要收取運往另一貿易區如歐洲的貨物；(2) 大型船舶由一軸心港出發，繞行區域內所有港口後，目標為另一貿易區的數個軸心港，直至目標港口後才逐次卸貨。在船舶大型化的趨勢下，一艘船舶能裝載較多的貨物，為了提高承載率，減少空櫃成本，逐漸產生該類航線。航線型式如下圖 1。本研究即是延伸該文獻的假設，以越洋航線的貨物為標的，在集貨港的貨物欲藉由軸心港送往另一貿易區的前提下，探討集貨港的貨物如何先運送至軸心港，並利用混和多航段迴圈式航線模式，規劃集貨港

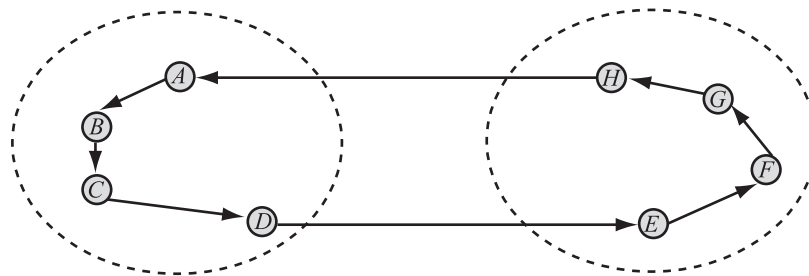


圖 1 兩端港航線示意圖

資料來源：唐麗敏 (2009)。

至軸心港間的航線，使航商藉由軸輻路網收送最多的越洋貨物。

藉由定期貨櫃航運具有軸輻路網的特性，建構本研究模式以選擇適合的軸心港，及規劃集貨船繞行服務各集貨港的路線，使船舶在軸心港與集貨港間的運送成本、船貨櫃裝卸費、港埠費用等達到最小；並在各港口的配送需求已知的限制下，滿足各港口的需求。承接上述的概念，本研究的研究步驟如下：首先以軸輻路網所需的參數建構一整數規劃模式，該模式須符合區位途程模式之限制，及定期貨櫃航運市場特性，再利用 LINGO 軟體求得最佳解，最後將最佳解與環繞式航線、樞紐——輻射式航線之運輸模式的解做比較，判斷本研究模式是否具實用性。

3.2 模式說明

依據前小節之概念，本小節將建構貨櫃排程模式，主要分為模式基本假設、變數/符號定義與數學模式這三個部分，分別說明如下。

3.2.1 模式基本假設

為符合定期貨櫃航運與區位-途程問題的特性，以利數學模式的建構，本研究訂定以下三部分的假設，分別為：環境假設、航行假設及已知變數假設，分述如下。

1. 環境假設

- (1) 主要探討軸輻式航線的模式及該模式對航商的效益。
- (2) 依循實務，假設定期貨櫃船具有同時收送貨的性質。
- (3) 劃定研究個案的範圍，包含選定候選的軸心港及數量，與確立有哪些集貨港是研究對象。
- (4) 以模式選擇軸心港與確定集貨船的航線，並未探討貨櫃母船的航線排程。
- (5) 由於本文主要探討集貨航線的設定，並假設越洋貨物須先運至轉運之軸心港後，才藉由主航線運至越洋的貿易區，故本文以貿易區為概念，將另一貿易區對集貨港的貨物供需量簡化為整體的供需數值。
- (6) 設想單一集貨船所行經的集貨港間，彼此距離較近，平時已有直航的可能，故假設集貨船在各集貨港收貨後，將貨物運至軸心港才進行卸貨的動作。

2. 航行假設

- (1) 假設各集貨港對貨物的需求量與供給量皆為平均需求，各為一常數值。
- (2) 繞行於集貨港的船舶必定先由軸心港出發，滿足完航線內所有集貨港的需求與供給後，再回到原來的軸心港。
- (3) 同時考慮運送貨櫃至各集貨港，及從集貨港收貨的情況。

- (4) 由於集貨船每趟的任務為繞行航線內各集貨港一次，故設定集貨船航行一趟時，每個集貨港只能被一艘集貨船服務，且只能被服務一次。
- (5) 由於集貨航線皆以軸心港為起迄點，故以軸心港為配送中心，配送越洋貿易區的貨物給航線內各集貨港，及整理集貨船從各集貨港所收取的貨物，而該貨物即是欲配送給越洋貿易區的貨物。
- (6) 在每一條集貨船的繞行路徑上，其所有集貨港的需求量加上供給量的總和不超過該集貨船的容量限制。

3. 已知參數假設

- (1) 在軸心港的相關港埠費用已知，包含貨物裝卸成本、船舶進出及停留碼頭的费用。
- (2) 各港口間的距離為已知，包括：軸心港與集貨港、軸心港與軸心港、集貨港與集貨港間的距離。
- (3) 貨櫃船的船型已知，能確定航行於軸心港與集貨港的船舶的最大載運 TEU 數。
- (4) 貨櫃船的租用、建置等固定成本已知。
- (5) 航行於軸心港與集貨港間的貨櫃船運送成本已知。

3.2.2 定義變數/符號

1. 集合定義

- (1) $h \in H$: h 代表候選之軸心港，而 H 為

軸心港之集合。

- (2) $i, j, f \in F$: i, j, f 代表集貨港，而 F 為集貨港之集合。
- (3) $s \in S_2$: s 代表集貨船，而 S_2 為集貨船之集合。
- (4) $N_2 = H \cup F$: 為候選之軸心港與集貨港的聯集。

2. 參數定義

- (1) $demand_f$: 為集貨港 f 對越洋地區來的貨櫃平均需求量
- (2) $supply_f$: 為集貨港 f 對越洋地區的貨櫃平均供給量
- (3) Q_f : 為一平均變數，為集貨港 f 對被選中之軸心港的貨櫃需求量
- (4) R_f : 為一平均變數，為集貨港 f 供給被選中之軸心港的貨櫃量
- (5) D_{ij} : 港口 i 至港口 j 的距離
- (6) tc_s : 為船舶 s 每公里的運送成本
- (7) TEU_s : 為集貨船 s 最大的 20 呎貨櫃裝載量
- (8) TEU_{HP_h} : 為軸心港 h 的最大的 20 呎貨櫃吞吐量
- (9) $hc1_h$: 集貨船停靠軸心港 h 的港口成本，為綜合碼頭泊靠、進出港等費用
- (10) $hc2_f$: 為配送貨物給集貨港 f ，集貨船於出發前在軸心港裝貨時，每個 20 呎普通貨櫃的吊櫃費
- (11) $hc3_f$: 裝載集貨港 f 所供給的貨物後，集貨船於軸心港卸貨時，每個 20 呎

普通貨櫃的吊櫃費

(12) $fc1_f$: 集貨船停靠集貨港 f 的港口成本，為綜合碼頭泊靠、進出港等費用的成本

(13) $fc2_f$: 集貨船於集貨港 f 卸貨與裝貨時的吊櫃費，且為每 20 呎普通貨櫃的吊櫃費

(14) sfc_s : 集貨船 s 之固定成本

3. 決策變數定義

(1) U_{ijs} : 若集貨船 s 先服務集貨港 i 再服務集貨港 j ，其值為 1，反之為 0

(2) X_h : 若軸心港 h 有開，其值為 1，反之為 0

(3) B_s : 若集貨船 s 有被使用，其值為 1，反之為 0

(4) G_{ijs} : 表示集貨船 s 從軸心港出發，經過集貨港 i 到集貨港 j 後所剩餘的貨物數量

(5) K_{ijs} : 表示集貨船 s 從集貨港 i 到集貨港 j 所裝載的貨物數量

3.2.3 數學模式 (區位-途程模式)

1. 目標式

目標函數如 (1) 式所示，目的為使航商的總運籌成本達到最小，該目標式由集貨船在軸心港的靠港與裝卸貨成本，加上集貨船在集貨港的靠港與裝卸貨成本，再加上集貨船的固定成本與運送成本所組成。

$$\begin{aligned} \text{MIN: } & \sum_{h \in H} (hc1_h) * X_h * 2 \\ & + \sum_{f \in F} 2 * (hc2_f) * Q_f \\ & + \sum_{f \in F} 2 * (hc3_f) * R_f + \sum_{f \in F} (fc1_f) \\ & + \sum_{f \in F} 2 * (fc2_f) * (demand_f + supply_f) \\ & + \sum_{s \in S_2} sfc_s * B_s \\ & + \sum_{i \in N_2} \sum_{j \in N_2} \sum_{s \in S_2} D_{ij} * tc_s * U_{ijs} \end{aligned} \quad (1)$$

2. 限制式

(1) 集貨港只能被服務一次，如 (2) 所示

$$\sum_{s \in S_2} \sum_{i \in N_2} U_{ijs} = 1, \quad \forall f \in F \quad (2)$$

(2) 若軸心港有被選中，則集貨船便由任一集貨港與軸心港做連結，如 (3) 所示

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N_2} U_{ihs} & \leq X_h, \\ \forall h \in H, \forall s \in S_2 \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 表示集貨船的流量守恆，即集貨船在停靠該集貨港後，必由該集貨港離開，如 (4) 所示

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N_2} U_{ijs} - \sum_{i \in N_2} U_{jis} & = 0, \\ \forall j \in N_2, \forall s \in S_2 \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 航線內集貨港的供給量總和再加上原來船上的載貨量，必不大於集貨船的艙位容量 (TEU 數)，如 (5) 所示

$$K_{ijs} + G_{ijs} \leq U_{ijs} * TEU_s, \quad (5)$$

$$\forall i, j \in N_2, \forall s \in S_2$$

- (5) 集貨船出發與駛回軸心港的貨物量差，恰等於航線內集貨港群對軸心港與越洋地區的總貨櫃需求量，如 (6) 所示

$$\sum_{j \in N_2} \sum_{s \in S_2} G_{ijs} - \sum_{i \in N_2} \sum_{s \in S_2} G_{his} = \sum_{j \in F} \sum_{s \in S_2} G_{hjs}$$

$$\forall h \in H, \forall s \in S_2 \quad (6)$$

- (6) 集貨船出發與駛回軸心港的貨物量差，恰等於航線內集貨港群對軸心港與越洋地區的總貨物供給量，如 (7) 所示

$$\sum_{i \in N_2} \sum_{s \in S_2} K_{his} - \sum_{i \in N_2} \sum_{s \in S_2} K_{ihs} = \sum_{j \in F} \sum_{s \in S_2} K_{jhs}$$

$$\forall h \in H, \forall s \in S_2 \quad (7)$$

- (7) 集貨船進出集貨港的貨物量差，恰等於該集貨港對軸心港與越洋地區的貨櫃需求量，如 (8) 所示

$$\sum_{t \in N_2} \sum_{s \in S_2} G_{ifs} - \sum_{t \in N_2} \sum_{s \in S_2} G_{fts}$$

$$= demand_f + Q_f \quad (8)$$

$$\forall f \in F, \forall s \in S_2$$

- (8) 集貨船進出集貨港的貨物量差，恰等於該集貨港對軸心港與越洋地區的貨櫃供給量，如 (9) 所示

$$\sum_{i \in N_2} \sum_{s \in S_2} K_{fis} - \sum_{i \in N_2} \sum_{s \in S_2} K_{ifs}$$

$$= supply_f + R_f \quad (9)$$

$$\forall f \in F, \forall s \in S_2$$

- (9) 集貨船服務集貨港次數不大於船舶艘數

$$U_{ijs} \leq B_s, \quad \forall i, j \in N_2, \forall s \in S_2 \quad (10)$$

- (10) 集貨船由軸心港所載運的貨物量，再加上所有集貨港的供給量，不大於軸心港的貨物吞吐量

$$\sum_{h \in N_2} \sum_{s \in S_2} G_{his} + \sum_{h \in N_2} \sum_{s \in S_2} K_{ihs}$$

$$\leq TEU_{HPH} \quad (11)$$

$$\forall h \in H, \forall s \in S_2$$

- (11) 變數值域限制式

$$X_h = \{0, 1\}, \quad \forall h \in H \quad (12)$$

$$B_s = \{0, 1\}, \quad \forall s \in S \quad (13)$$

$$U_{ijs} = \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N_2 \quad (14)$$

$$G_{ijs} \geq 0, \quad \forall i, j \in N_2 \quad (15)$$

$$K_{ijs} \geq 0, \quad \forall i, j \in N_2 \quad (16)$$

肆、範例測試與分析

為測試本研究所建立的航線排程模式，本研究將建構一範例，再以數學規劃軟體 LINGO 12.0 進行求解，並利用桌上型電腦 (Pentium® Dual-Core CPU 2.50 GHz, 2.00 GB 的 RAM) 進行運算，以總運輸成

本最小化為目標。4.1 節說明範例的問題描述；4.2 節為範例的求解結果分析。

4.1 範例問題描述

以亞太地區為研究範圍，在參考貨櫃吞吐量與地理位置後，從北到南依序選定上海 (1)、高雄 (2)、新加坡 (3) 為候選的軸心港，其中的高雄港位於中間的位置，且為國內航商營運的總部；而曼谷 (4)、巴生 (5)、馬尼拉 (6)、香港 (7)、雅加達 (8)、釜山 (9)、長崎 (10)、神戶 (11)、東京 (12) 為集貨港，以上述節點為基礎，建構主線與支線結合的軸輻路網，並在該區域內共預設 3 艘 2,000 TEU 的全貨櫃船，其中港口後的 () 中數字為港口在本案例中的代號。另外，除了各港間的相對距離，可藉由經緯度來推算外，其餘的成本資料如：航商之貨櫃需求量、運送成本及貨物裝卸成本等為航商之機密，無法取得實際的數據，所以本研究之數據，為整合以過去文獻中相關的數據，加以推估而得。其中，各港口之貨物需求量乃是參考 2009 年臺灣地區「進出口貨物運量分析」之數據加以修改；而船型是參考林光與張志清 (2010) 對近洋港口與其配合船型的意見所定。本研究先以 LINGO 12.0 軟體求出區

位-途程模式的解，而後再將該解與環繞式航線模式、樞紐-輻射式之航線模式的解做比較。

4.2 範例之求解結果

4.2.1 區位-途程模式求解

在決定船型為 2,000 TEU 的情況下，經由 LINGO 12.0 軟體求解後，得出最小總成本為 2,551,549 美元，只有上海及高雄被選為軸心港，並派出 3 條航線如表 1，由上海港派出兩艘船服務釜山至東京的東北亞貿易區；由高雄港派出一艘船服務菲律賓至曼谷的南亞貿易區。由船舶所行經的港口順序來看，船舶是以順時針或逆時針方式做繞境，故航線是以繞圈的方式呈現，並無突然逆反轉折的多餘路徑，並由航路來看，顯示該模式在規劃時有考慮各港口間的最短運送路徑，顯示該模式具基本的可信度。

表 2、3、4 則列出各航線的靠港費、貨櫃裝卸費與船舶的變動成本，其中成本最大的為航線 3 的 1,112,943 美元，最小的為航線 1 的 556,487.1 美元，三條航線的成本加總為 2,545,614.9 美元。三條航線的成本比例約為 1：1.57：2，顯示在成本上並無特別偏重於哪一條航線。

表 1 區位-途程模式之結果

航線別	停靠港順序	船型
航線 1	上海→長崎→釜山→上海	2,000 TEU 船舶
航線 2	上海→東京→神戶→上海	2,000 TEU 船舶
航線 3	高雄→香港→曼谷→巴生→雅加達→馬尼拉→高雄	2,000 TEU 船舶

表 2 航線 1 之靠港費、貨櫃裝卸費與船舶的變動成本

航線 1	上海	上海—長崎	長崎	長崎—釜山	釜山	釜山—上海	上海	總計
靠港費 (美元)	3,000	-	2,106	-	3,198	-	3,000	11,304
裝卸費 (美元)	178,867.6	-	146,312.2	-	125,918.3	-	93,362.9	544,461
運送費 (美元)	-	317.3454	-	91.1653	-	313.6223	-	722.133
總計	181,867.6	317.3454	148,418.2	91.1653	129,116.3	313.6223	96,362.9	556,487.1

表 3 航線 2 之靠港費、貨櫃裝卸費與船舶的變動成本

航線 2	上海	上海—東京	東京	東京—神戶	神戶	神戶—上海	上海	總計
靠港費 (美元)	3,000	-	1,470	-	1,425	-	3,000	8,895
裝卸費 (美元)	327,425	-	239,862.2	-	193,087.2	-	105,524.4	865,898.8
運送費 (美元)	-	695.4655	-	172.6159	-	522.8728	-	1,390.954
總計	330,425	695.4655	241,332.2	172.6159	194,512.2	522.8728	108,524.4	876,184.8

表 4 航線 3 之靠港費、貨櫃裝卸費與船舶的變動成本

航線 3	高雄	高雄—香港	香港	香港—曼谷	曼谷	曼谷—巴生	巴生
靠港費 (美元)	4,500	-	1,335	-	1,293	-	1,356
裝卸費 (美元)	321,812	-	195,706.6	-	73,156.1	-	151,363.9
運送費 (美元)	-	225.2979	-	610.4177	-	388.4681	-
總計	326,312	225.2979	197,041.6	610.4177	74,449.1	388.4681	152,719.9

航線 3	巴生—雅加達	雅加達	雅加達—馬尼拉	馬尼拉	馬尼拉—高雄	高雄	總計
靠港費 (美元)	-	1,329	-	1,320	-	4,500	15,633
裝卸費 (美元)	-	60,620.4	-	66,607.6	-	225,642.6	1,094,909
運送費 (美元)	219.9911	-	652.7938	-	303.7780	-	2,400.747
總計	219.9911	61,949.4	652.7938	67,927.6	303.7780	230,142.6	1,112,943

表 5、6、7 顯示各航線及線內各航段的運送距離與時間，其中運送時間是以距離除以船速所求得，而在船速的設定上，

Hermann (2010) 在統計 1986 與 2007 年間的貨櫃船後，得出平均貨櫃船速從 17.5 節增加到 21 節。依美制而定，1 節為 6,086

表 5 航線 1 之距離、運送時間與運送成本

航線 1	上海—長崎	長崎—釜山	釜山—上海	總計
距離(公里)	955.6580	274.5364	944.4464	2,174.641
單位運送成本(美元)	0.33207	0.33207	0.33207	-
運送成本(美元)	317.3454	91.16530	313.6223	722.133
運送時間(小時)	24.55619	7.054372	24.2681	55.878

表 6 航線 2 之距離、運送時間與運送成本

航線 2	上海—東京	東京—神戶	神戶—上海	總計
距離(公里)	2,094.334	519.8179	1,574.586	4,188.738
單位運送成本(美元)	0.33207	0.33207	0.33207	-
運送成本(美元)	695.4655	172.6159	8,522.872	1,390.954
運送時間(小時)	53.81513	13.35702	40.4599	107.632

表 7 航線 3 之距離、運送時間與運送成本

航線 3	高雄—香港	香港—曼谷	曼谷—巴生	巴生—雅加達
距離(公里)	678.4650	1,838.220	1,169.838	662.4840
單位運送成本(美元)	0.33207	0.33207	0.33207	0.33207
運送成本(美元)	225.2979	610.4177	388.4681	219.9911
運送時間(小時)	17.43355	47.23413	30.05967	17.02291
航線 3	雅加達—馬尼拉	馬尼拉—高雄	總計	
距離(公里)	1,965.832	914.8012	7,229.64	
單位運送成本(美元)	0.33207	0.33207	-	
運送成本(美元)	652.7938	303.7780	2,400.747	
運送時間(小時)	50.51319	23.50634681	185.7697933	

英尺/小時 = 1,853.2 公尺/小時 = 1.8532 公里/小時。在加總後得知，三條航線的總航行距離為 13,593.019 公里、時間為 349.28 小時、總成本為 4,513.834 美元，其中運送成本是指船舶航行之變動成本，並無包含船舶之靠港費及貨櫃裝卸費等。

4.2.2 環繞式航線模式求解

唐麗敏 (2009) 表示定期貨櫃航商常以環繞式航線經營，其航線特色為依序停靠

選定的港口，每個港口只停靠一次。該型航線可適用於貨量豐富的地區，藉由只去不回、不斷收貨的方式提高承載率，其型式如圖 2。

範例中的集貨港如釜山、東京、香港、巴生等，其貨櫃吞吐量為世界前 20 大港口，都具有成為軸心港的實力，為此本研究將探討以單艘貨櫃船服務完所有區域內港口的情況，並與區位途程模式比

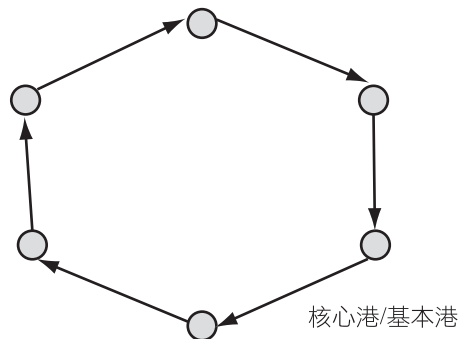


圖 2 環繞式航線示意圖

資料來源：唐麗敏 (2009)。

較。越洋航線上的大型貨櫃母船為了行駛至貿易區裝卸貨，需先跨越太平洋、大西洋等大洋區，因此在抵達貿易區後，通常會先停靠於大型港口，以便加油、補給、轉運其他貿易區的貨物，因上海於 2010 年的貨櫃吞吐量為世界第 1，故本項以上海港為轉運港，在考量最短距離及運量的情況下，探討以 5,000 TEU 的貨櫃母

船依序停靠各港口裝卸貨的情況，經由 LINGO 12.0 軟體求解後，求出最小成本為 2,597,437 美元，較本研究模式高出約 45,888 美元。其航線資料如表 8。

表 9 列出環繞式航線之運送距離、時間與成本。由表 9 得知其運送距離為 12,350.8 公里、運送時間為 317.3609 小時、運送成本為 10,253.32 美元，其中運送成本是指船舶航行之變動成本，並無包含船舶之靠港費及貨櫃裝卸費等。在與區位-途程的結果比較後，得知環繞式航線的運送距離短了 1,242.219 公里、運送時間少了 31.92 小時，但運送成本卻為區位-途程之 2.2715 倍，原因是船型愈大則每公里所耗費的燃油等變動成本愈高。

另外，由表 5、6、7 來看，各航線之集貨船所經過的港口不超過五個，各航線

表 8 環繞式航線之結果

航線別	停靠港順序	船型
環繞式航線	上海→香港→曼谷→巴生→雅加達→馬尼拉→東京→神戶→長崎→釜山→上海	5,000 TEU 船舶

表 9 環繞式航線之運送距離、時間、成本

環繞航線	上海—香港	香港—曼谷	曼谷—巴生	巴生—雅加達	雅加達—馬尼拉	
距離(公里)	1,277.091	1,838.220	1,169.838	662.4840	1,965.832	
單位運送成本(美元)	0.830175	0.830175	0.830175	0.830175	0.830175	
運送成本(美元)	1,060.209	1,526.044	971.1703	549.9777	1,631.985	
運送時間(小時)	32.81559	47.23413	30.05967	17.02291	50.51319	

環繞航線	馬尼拉—東京	東京—神戶	神戶—長崎	長崎—釜山	釜山—上海	總計
距離(公里)	3,074.988	519.8179	623.5441	274.5364	944.4464	12,350.8
單位運送成本(美元)	0.830175	0.830175	0.830175	0.830175	0.830175	
運送成本(美元)	2,552.778	431.5398	517.6507	227.9133	784.0558	10,253.3
運送時間(小時)	79.0136	13.35702	16.02233	7.054372	24.2681	317.3609

的運送時間不超過 185.77 小時；反觀表 9，若欲將貨物送達釜山港，必須先經過八個港口、經過 293.09 小時，顯示區位-途程模式較能在有效時間內將貨物送達。在國際物流中，追求時效及減少運送成本一直為物流業者的目標，以上分析顯示以區位途程模式套用至海運軸輻路網上，比傳統模式更具有顯著的效果，適合定期貨櫃航商採用。

4.2.3 樞紐-輻射式模式 (區位指派模式) 求解

區位指派是指將貨物由物流中心直

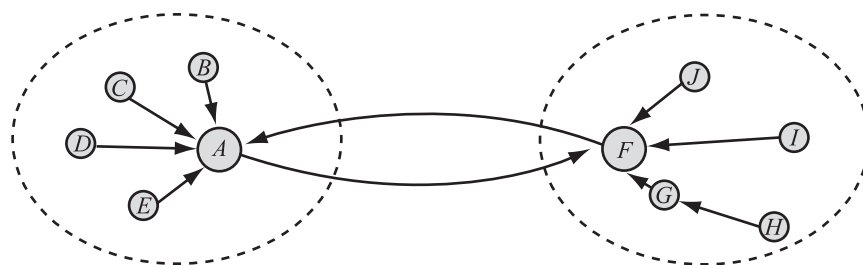


圖 3 樞紐-輻射式航線示意圖

資料來源：唐麗敏 (2009)。

在學術研究上，張斐茹 (2000) 便以此模式探討航線型態為軸輻路網時，定期貨櫃船之航線規劃與停靠港口之選擇，即令每個集貨港必須與軸心港相連為限制，建構二次指派的整數規劃模式，提供新的分析架構。

本研究承區位-途程模式的結果，以上海及高雄為軸心港，直接指派船舶給服務範圍內的九個港口，因此共有九條航線 (如表 10)，船舶服務完直接回軸心港。關

接運送至需求點，途中不經過其他的需求點，再原車返回物流中心，此方法可減少運送貨物的時間及運費；但缺點是每個需求點都須由一輛車運送，或增加派車的數量及成本。在定期航運上亦有此方面的情況，唐麗敏 (2009) 將其定義為樞紐-輻射式航線，航線形式為主幹航線加上分支航線，由軸心港間所構成的航線被稱為主幹航線，由集貨港與軸心港連結成的航線被稱為分支航線，其形式如圖 3。

於船舶的運輸成本、固定成本，以及在軸心港與集貨港的停港費與裝卸貨等費用的計算，皆是以船型為 1,000 TEU 的費用為準，經計算後得知總成本為 2,605,880.9 美元，較區位途程模式的 2,551,549 美元高出約 54,331.9 的費用。

若欲探究在船型為 1,000 TEU 的情況下，為何總成本反而較高，則可由運送成本及靠港次數這兩個觀點切入，討論為何會有上述情形，由表 11 來看，樞紐-輻射

表 10 樞紐-輻射式航線之航段總成本

航線	總成本	航線	總成本
上海-釜山航線	262,716.2	高雄-巴生航線	314,879.1
上海-長崎航線	302,961.7	高雄-馬尼拉航線	144,646.0
上海-神戶航線	396,376.8	高雄-香港航線	402,773.0
上海-東京航線	490,121.9	高雄-雅加達航線	133,167.8
高雄-曼谷航線	158,238.4	-	-
總計：2,605,880.9	-	-	單位：美元

(上列顯示各航線的成本，經過加總後，得知整體的成本為 2,605,880.9 美元)

表 11 樞紐-輻射式航線之運送成本

	距離 (公里)	往返距離 (距離 × 2)	航線運送成本 (美元)	航線往返運送成本 (美元)
上海-釜山航線	944.4464	1,888.893	156.8112	313.6224
上海-長崎航線	955.6580	1,911.316	158.6727	317.3454
上海-神戶航線	1,574.586	3,149.172	261.4364	522.8728
上海-東京航線	2,094.334	4,188.668	347.7327	695.4654
高雄-曼谷航線	2,447.241	4,894.482	406.3277	812.6554
高雄-巴生航線	3,030.320	6,060.64	503.1392	1,006.278
高雄-馬尼拉航線	914.8012	1,829.602	151.8890	303.778
高雄-香港航線	678.4650	1,356.93	112.6489	225.2978
高雄-雅加達航線	2,395.514	4,791.028	397.7392	795.4784
總計	15,035.37	30,070.73	2,496.397	4,992.794

表 12 樞紐-輻射式航線之靠港次數

靠港次數	航線 1	航線 2	航線 3	航線 4	航線 5	航線 6	航線 7	航線 8	航線 9	總計
軸心港	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
集貨港	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
總計	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27

式航線之總運送距離為 30,070.73 公里，較區位-途程模式的 13,593.019 公里長，總運送成本亦高出 478.96 美元。另由於各航線需往返軸心港，所以共有 $9 \times 2 = 18$ 段航程，由此來看，該模式之集貨船共需停靠港口裝卸貨 27 次，其中在軸心港

停靠 18 次(含去與回)、裝卸貨櫃 18 次；在集貨港停靠 9 次、裝卸貨櫃 9 次。與區位-途程模式的 15 次靠港次數相比，高出 12 次，故其靠港費與貨櫃裝卸費亦隨之提高，相比之下，以區位-途程方式運送會較務實。

伍、結論與建議

本研究以建構一模式來決策多航段迴圈式航線之最適分配，主要的決策要素為集貨船服務數量、各航線的服務次數、候選的軸心港個數、各港口的貨櫃供給量與需求量，決策時以滿足各港口的需求為必要條件。在三項模式做比較後得知，本模式所規劃的集貨船航線較具彈性，可隨各港間的貨物量做調整，相較於環繞式航線模式，使各港口貨櫃的運送時間變短；又較於樞紐-輻射式航線模式，本模式可減少運送距離、靠港及裝卸貨次數。

本文針對後續的研究，列出以下幾點建議，提供後續研究者參考：

1. 本研究以亞太地區之港口為研究案例，屬於近洋航線之研究，但近洋航線與遠洋航線的特性略有不同，其中最大的不同為港口間之距離、船舶航行的時間、遠洋與近洋所適用的船型不同，故未來可針對遠洋航線做分析。另外對於遠洋與近洋航線的設計與結果，做一比較分析。
2. 多數航商在設計航線時，大都以市場的經濟活動來考慮合適的航線，並考慮遠洋與近洋航線的搭配，本研究可作為規劃遠、近洋航線的基礎。
3. 在過去的研究中，關於航線設計或車輛途程問題多都以線性規劃或混和整數規

劃模式來表述問題，再利用 LINGO、CLPEX、OBL 等軟體求得最佳解，若能將決策變數放寬為時數，則會較適用於實際情況，但放寬整數限制及問題規模愈大時，求解時間會隨著變數增多成指數型態增加，為節省求解時間，後續之研究者可自行設計演算法求解。

4. 貨櫃運送市場有淡旺季之分，港口的貨物需求量亦非固定，本研究將貨物之需求量設為固定值，為平均需求，不具彈性，後續可針對動態的貨物需求量與供給量進行研究。
5. 本研究以近洋航線為範圍，故船型皆設計為 2,000 TEU，若欲設計結合遠洋與近洋航線之軸輻路網模式，需考慮超巴拿馬極限型及巴拿馬極限型以下之不同船舶的配合。
6. 在實務上航商為了減少船舶的購置成本，往往以租賃船舶的方式經營，故未來可以選擇自有船舶或租賃船舶運送為研究目標，探討自家船舶與租賃船舶之最適分配，及使用租賃船舶的時機。

參考文獻

- 林光、張志清，2010，*航業經營與管理*，七版，航貿文化事業有限公司，臺北市。
- 交通部運輸研究所，2011，*港埠進口貨物貨櫃化比率*，臺北市。

- 交通部運輸研究所，2009，進出口貨運量分析，<http://www.iot.gov.tw>，2010年12月5日。
- 朱經武、周偉禮，2006，以啟發式演算法求解單一場站多車種同時收送貨之車輛途程問題，*航運季刊*，第15卷，第3期，63-88。
- 周璟宇，2003，具時間窗限制之物流配送系統區位-途程問題研究，國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士論文，新竹市。
- 唐麗敏，2009，徹底搞懂海運航線，初版，中國海關出版社，大陸。
- 邱明琦、陳春益、林佐鼎，2002，海運貨櫃排程模式之研究，*運輸計劃季刊*，第31卷，第3期，499-500。
- 許志成，1998，定期貨櫃船舶排程計劃研究，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，中壢市。
- 曹餘偉，2006，應用禁忌搜尋法求解多車種多物流中心之區位途程問題，私立元智大學工業工程與管理學系碩士論文，桃園縣。
- 溫舜光，2008，考量分批送貨的區位途程問題，國立雲林科技大學工業工程與管理學系碩士論文，雲林縣。
- 陳春益、張永昌，1997，航商選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討，*國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學*，第7卷，第3期，438-444。
- 陳惠國，2009，*網路與物流分析*，初版，五南出版社，臺北市。
- 陳春益、林志鴻、張蕙蘭，2001，*運輸網路分析*，初版，五南出版社，臺北市。
- 游至誠，2001，允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸輻路網模式，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，新竹市。
- 郭塗城、朱經武，2000，定期船停靠港口模式之探討，*中華民國第五屆運輸網路研討會論文集*，317-326，臺北市。
- 張斐茹，2000，軸輻路網在國際定期貨櫃船航線之應用，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，新竹市。
- 廖于慧、盧華安、曹壽民，2005，轉運航線之船期安排，*運輸學刊*，第17卷，第1期，1-26。
- 盧華安、簡秉民，2010，定期航商海上貨櫃運送路徑策略性規劃之研究，*運輸計劃季刊*，第39卷，第2期，191-222。
- 謝幼屏，2006，軸輻貨櫃海運網路之路線、船型與頻次決策研究，國立交通大學運輸科技與管理學系博士論文，新竹市。
- 顏上堯、藍世宗，2003，定期貨櫃船舶航線規劃模式與求解演算法之研究，*運輸計劃季刊*，第32卷，第1期，47-74。
- 韓復華、卓裕仁，2001，*運輸網路分析*，初版，五南出版社，臺北市。

Ambrosino, D. and Scutella, M.G., 2005. Distribution network design: new problems and related models. *European Journal of Operational Operation Research*, 165, 610-624.

Barreto, S., Ferraire, C., Paixao, J. and Santos, B.S., 2007. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 968-977.

Hermann, K., 2010. Class Proposes Even Slower Ship Speeds. Available at: <http://www.motorship.com/features101/regulation-and-classification/class-proposes-even-slower-ship-speeds> (accessed 6 Jan 2010)

Lu, H.A., 2002. Modelling ship's routing bounded by the cycle time for marine liner. *Journal of Marine Science and Technology*, 10(1), 1-7.

Ronen, D., 1983. Cargo ships routing and scheduling: survey of models and problems. *European Journal of Operational Research*, 12, 119-126.

Webb, M.H.J., 1968. Cost functions in the location of depot for multi-delivery journeys. *Operational Research Quarterly*, 19(3), 311-328.