

93-71-7104

MOTC-IOT-92-H1BA03-1

高雄港貨櫃航線轉運 成本分析之研究



交通部運輸研究所

中華民國九十三年四月

93-71-7104

MOTC-IOT-92-H1BA03-1

高雄港貨櫃航線轉運 成本分析之研究

著 者：謝幼屏

交通部運輸研究所

中華民國九十三年四月

高雄港貨櫃航線轉運成本分析之研究

著 者：謝幼屏

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十三年四月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價： 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

高雄港貨櫃航線轉運成本分析之研究

交通部運輸研究所

GPN：1009301435

定價 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：高雄港貨櫃航線轉運成本分析之研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009301435	運輸研究所出版品編號 93-71-7104	計畫編號 92-H1BA03-1
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：謝幼屏 研究人員： 聯絡電話：(04)26587117 傳真號碼：(04)26564418			研究期間 自 92 年 01 月 至 92 年 12 月
關鍵詞：成本分析、貨櫃轉運、航線決策			
摘要： 基於航商是否選擇高雄港做為轉運港，將影響高雄港的轉運業務，本研究針對此一課題作分析。首先回顧航線規劃與靠泊港決策之相關文獻，分析目前貨櫃海運朝向船舶大型化、航商聯營化與航線軸心化之趨勢，探討高雄港的地理位置優勢以及高雄港與世界各區域間的貨櫃貿易量，並就高雄港的貨櫃碼頭營運現況作說明。 然後提出以追求航運成本與貨物存貨成本最小化為轉運港選擇之兩大目標，分別分析在貨櫃運送過程中的各項成本，構建出航運成本函數與貨物存貨成本函數，並推導兩成本間的數學關係式，運用此成本函數分析貨櫃運送的船型決策問題。最後選擇以馬尼拉港為轉運成本分析之研究對象，針對該港的貨櫃運送經高雄港或香港轉運作探討，推導出在轉運成本考量下，於不同的主航線與接駁航線運送頻次情況下之最適轉運港。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
93 年 4 月	64		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Container transshipment cost at the Port of Kaohsiung			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009301435	IOT SERIAL NUMBER 93-71-7104	PROJECT NUMBER 92-H1BA03-1
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsieh, Yu-Ping PROJECT STAFF: PHONE: 04-26587117 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM 2003/01 TO 2003/12
KEY WORDS: cost analysis, container transshipment, routing decision			
ABSTRACT: Whether or not carriers choose Kaohsiung as their transshipment port would influence the transshipment business of the Port of Kaohsiung. Therefore, this study was to review some related papers about ship routing and port decision, analyze the future trend about the development of marine container transportation, and discuss the geographic advantage of the Port of Kaohsiung. Meanwhile, the present operation condition of Kaohsiung container terminal will also be explained. Next, to minimize both shipping cost and holding cost for carriers, all costs in a container transportation process were analyzed, a shipping cost function and a holding cost function were constructed. Besides, the mathematical relationship between shipping cost and holding cost was deduced, and a ship size decision problem was analyzed by using the cost functions. Finally, the transshipment cost about container transportation to/from the Port of Manila was examined, and the suitable port of transshipment for different frequency of main line and feeder line was deduced.			
DATE OF PUBLICATION April 2004	NUMBER OF PAGES 64	PRICE	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究動機.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究方法與流程.....	1-2
1.4 預期效果及影響.....	1-2
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 航線規劃.....	2-1
2.2 靠泊港選擇.....	2-5
第三章 高雄港貨櫃轉運現況分析.....	3-1
3.1 貨櫃海運發展趨勢分析.....	3-1
3.2 高雄港地理位置與貨櫃航線分析.....	3-4
3.3 高雄港貨櫃碼頭營運現況.....	3-6
第四章 成本函數構建.....	4-1
4.1 航運成本函數.....	4-2
4.2 貨物存貨成本函數.....	4-5
4.3 船型與頻次決策.....	4-7

第五章 單一集貨港之轉運成本分析	5-1
5.1 資料說明	5-1
5.2 成本分析	5-3
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 建議	6-2
參考文獻	7-1

表目錄

表 3.1	1997~2003 年世界各型貨櫃船之數量統計	3-3
表 3.2	2002 年高雄港與世界各區域間往來貨櫃量統計.....	3-6
表 3.3	高雄港現有貨櫃碼頭及裝卸設施.....	3-10
表 3.4	各貨櫃儲運中心後線的貨櫃場面積與容量.....	3-11
表 4.1	各型貨櫃船之船型相關參數值.....	4-11
表 4.2	各型貨櫃船的成本關係曲線以及最小運送頻次暨相對之航運 成本與貨物存貨成本.....	4-12
表 5.1	各型貨櫃船之船型相關參數值.....	5-2
表 5.2	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線特性.....	5-3
表 5.3	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線的實際可行航運服務 ..	5-4
表 5.4	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線特性.....	5-5
表 5.5	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線的實際可行航運服務	5-5
表 5.6	貨櫃經高雄港轉運之實際可行航運服務之總航運成本與存貨 成本.....	5-6
表 5.7	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線特性.....	5-7
表 5.8	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線的實際可行航運服務	5-8
表 5.9	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線特性.....	5-8
表 5.10	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線的實際可行航運服務	5-9
表 5.11	貨櫃經香港轉運之實際可行航運服務之總航運成本與存貨成 本	5-10

表 5.12	在不同航運服務情況下的轉運港決策.....	5-11
--------	-----------------------	------

圖目錄

圖 3.1	高雄港平面圖	3-8
圖 4.1	貨櫃船之運送路線	4-1
圖 4.2	任一型貨櫃船的柏拉圖最佳解	4-9
圖 4.3	TPN 航線的各航段航程	4-11
圖 4.4	各型船的可行解	4-12
圖 4.5	TPN 航線之柏拉圖最佳解	4-13
圖 4.6	貨物流量變動對船型決策之影響	4-14
圖 5.1	主航線與兩可能接駁航線的各航段航程	5-2
圖 5.2	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線的可行解	5-4
圖 5.3	馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線的可行解	5-5
圖 5.4	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線的可行解	5-4
圖 5.5	馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線的可行解	5-9

第一章 緒論

1.1 研究動機

亞太地區是當前全球經濟成長極為快速的地區，隨著經貿發展，航運業亦日趨繁榮。為使營運成本下降，達到規模經濟的目的，從事遠洋業務之航運公司乃在航運網路中選擇一或數個港埠為海運轉運中心(hub port)，以大型船舶—母船(mother ship)行駛海運轉運中心之間的主航線，而以集貨船(feeder ship)行駛海運轉運中心與地區港埠之間。成為海運轉運中心，除可增加當地進出口貨物運輸的便利性，暢通該地與鄰近地區間的貨物運輸，尚有帶動港埠所在地的發展，促進其與鄰近地區間區域性商業活動的經濟效益。目前我國推動的亞太海運轉運中心計畫，即欲吸引更多航商選擇高雄港為亞太地區的海運轉運中心，爭取更多的貨物經高雄港轉運。

不過，轉運港之位置乃由航商所決定。同一區域內若有兩個或數個港埠發展轉運業務，航商會比較各港特性而選擇適當者。郭石盾(1996)指出快桅公司(Maersk Line)駐新加坡經理 Jacobs 曾說：「航商所需要的是經營之高效率與高效益(Efficient and Cost Effective)，那裡貨源足夠，那裡費率公道，我們自然就航向那裡。」明白反應出航商選擇停靠港口的考量。港灣技術研究所(1996)曾歸納航商選擇轉運港之考量因素包括港埠地理位置、直接貨物量、港埠之效率、社會以及政治安定、港埠費率、港埠發展計畫、談判較好作業條件之可能性等。

基於航商是否選擇高雄港做為轉運港，將影響到高雄港的轉運業務發展，本研究擬估算航商的儲運成本，分析台灣鄰近地區集貨港的貨櫃是否會透過高雄港轉運，抑或採直接運送，或透過香港、新加坡港轉運？

1.2 研究目的

1. 回顧相關文獻、拜訪航商與港務局，取得各項運送成本資料。
2. 進行高雄港鄰近港埠的地理位置分析，以及進行高雄港的遠近洋航線分析。
3. 選定單一集貨港為研究對象，針對該港之貨櫃運送路線做分析，探討其貨櫃是否會經高雄港轉運，抑或經香港、新加坡港轉運。並進行敏感度分析，了解各參變數之影響。

1.3 研究方法與流程

本研究針對單一集貨港問題做探討。首先回顧相關文獻，拜訪航商、港務局人員，以蒐集港埠成本、船舶成本以及相關成本資料。其次，進行高雄港鄰近港埠的地理位置分析，與高雄港的遠近洋航線分析，確認以高雄港為轉運港的集貨港。選定一集貨港為研究對象，針對該港之貨櫃運送路線做分析，探討其貨櫃是否會經高雄港轉運，抑或經香港、新加坡港轉運，並進行敏感度分析，了解各參變數之影響。

1.4 預期效果及影響

本計畫除可提供港埠經營者由港埠使用者(航商)的角度來看港埠經營問題，使其更了解本身之優勢、弱勢外，並可做為其研擬港埠營運策略、訂定港埠費率之參考。

第二章 文獻回顧

本章進行相關文獻回顧，第一節回顧有關於航線規劃之文獻，第二節回顧有關於靠泊港決策之文獻。

2.1 航線規劃

過去關於航線規劃之文獻，大多針對航線安排、船舶排班課題做探討，著重於網路模式的構建與求解方法的設計。

探討的主題概分為三類：船舶排程(ship routing)、船隊部署(fleet deployment)與船舶排班(ship scheduling)。船舶排程係指安排船舶的航線與泊靠港口；船隊部署主要在將可調度的船隊分配到各航線，此一問題主要是定期船的探討課題；船舶排班係指安排一艘船在航線上的運送計畫，即安排船期。船舶排班受到其他船隊營運規劃決策因素的影響，無法單獨決定。陳春益、邱明琦(2001)指出在實務規劃流程上，定期船航商多先進行船舶之排程(航線設計)，再依據排程結果部署適合的船型船隊，並依據船隊部署結果，視各船舶狀況安排其船期。此外，船隊規模(fleet size)、船隊組成(mix)與最佳巡航速度(optimal cruising speed)亦在船舶排班、排程問題中探討。

模式的目標函數通常在追求利潤最大化或成本最小化。問題求解方法可分為最佳解法與啟發式解法(heuristic)，包括線性規劃法、整數規劃法、拉式鬆弛法等等。

接下來將回顧過去有關於船舶排程、排班問題的相關研究。

1. Ronen(1983)回顧貨物船運的路線安排、時間安排相關文獻，對問題與模式做深入探討。文中指出一條船每日的成本高達數千美金，若能適當安排船隊的路線與時間，將可顯著節省成本。有關於車輛排程問題的研究很多，但少有研究探討船舶的排程問題，文中首先就車輛排程與船舶排程間的差異做探討，並說明為何較少人研究船舶

排程問題。其次，作者依船舶排程問題的特性，提出一個定義問題型態的分類方式。然後回顧相關文獻，將排程、排班模式分為運輸系統模式、定期船、不定期船、工業用船(industrial operation)、其他等五類，分別介紹其相關研究。最後，討論船舶排程的趨勢、既有模式的缺點與實際模式的需求。作者提出船舶路線安排與時間安排問題較少有人研究的理由：1)在美國大部份的貨物由卡車與鐵路運送，船舶是次要運送工具，較少受到關心與注意。2)船舶排程問題的變異性較大，不像車輛排程問題的架構較明確。3)船舶營運的不確定性較高，如天氣狀況、機械問題、罷工等。4)船運市場為一國際性、資本密集、變動大、自由度高的市場。5)海運業有悠久傳統，較保守而不易接受新觀念。車輛與船舶在路線安排與時間安排問題間的差異：1)一條船不同於另一條船，容量與速率不同，營運成本亦不同。2)分析不同的船運方式(定期船、不定期船、工業用船)要考慮的因素不相同。3)船舶運送不必回到起點。4)船舶排程的不確定性較高。5)船舶整天營運，而車輛通常在夜晚休息。6)船舶在海上的目的地可能會改變。作者按船舶排程、排班問題的相關特性，提出一個定義問題型態的分類方式：按營運運具分為定期船、不定期船與工業用船；按裝卸時間分為特定時間、有時間窗與任意時間；按起點數分為一個起點或多個起點；...等等，共分為二十項。由此分類方式，可知船舶排程、排班問題極為複雜、變異很大。

2. Rana and Vickson(1988)探討往復式網路型態下之定期貨櫃船排程問題，其建立之模式可求解不同船型進行服務航線，並決定各船舶在其航線各個航段上之貨載運量，及各船舶在其服務航線上之繞行次數。
3. Ronen(1993)這篇文章彙整過去十年關於船舶排程(ship scheduling)與相關問題的論文，分析相關研究的趨勢，並提出未來研究的方向與課題。其將船舶排程問題分為船隊部署問題、存貨路線安排問題、最佳巡航速度問題、船舶排程問題，以及其他問題等五方面分別介紹與探討。他經由相關文獻回顧提出結論：過去十年由於個人電腦的廣泛

使用，使得計算力大為提升，造成船舶排程問題的研究發生許多改變，有(1)過去由大型電腦處理的船舶排程問題，現在改由個人電腦處理；(2)模式中包括了比較詳細與實際的船舶成本；(3)船舶巡航速度被視為一決策變數；(4)對於實際船舶排程問題求最佳解變得可行。在過去十年運用作業研究(OR)方法來處理船舶排程問題的深度與廣度均增加。最後，他強調船舶排程是一個極有潛力的研究領域，適當的船舶排程可以改善營運的經濟性。

4. Cho and Perakis(1996)根據短期及長期規劃之不同條件假設，提供兩種不同的船舶排程策略。短期部分，假定貨櫃運輸需求、船隊規模及候選航線等均為已知，建立模式求解每一艘船個別之服務航線或航線組合，以及各航線之服務航次數。長期部分，則假設船隊規模是不確定的，除可求解各船舶之航線分派及服務航次數外，並同時決定船舶之建造、購買或租賃等船隊管理策略。研究中上述兩種模式均無應用範例及求解結果，作者僅建議以現有之最佳化軟體求解，而面對大規模整數規劃問題時，則可考慮採用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)求解。
5. Powell and Perakis(1997)發展一整數規劃(IP)模式處理船隊部署(fleet deployment)問題。定期船經營者在運送路線已知、船舶數量已知的情況下，求得滿足最低運送頻率、總營運成本最小的船隊部署方式。模式的目標函數在最小化船隊的營運成本與入塢(lay-out)成本總合，滿足船舶的數量限制與最低服務需求限制。模式中考慮不同船舶有不同的營運成本與入塢成本，則可以分析船隊中有自有船舶、長期租用船舶、短期租用船舶等不同船舶的成本不同之情形。作者在1991年已針對此一問題發展出線性規劃(LP)模式，本文主要在修改原線性規劃(LP)模式為整數規劃(IP)模式。以整數規劃模式求解可直接求得最佳解，而原本以線性規劃模式求解時，需將非整數解修正為整數解，造成求得的結果可能為區域最佳解(sub-optimal)。這篇論文最主要的貢獻就在將線性規劃(LP)模式改為整數規劃(IP)模式。

6. 董孝行(1986)建立一非線性迴歸模式，分析船型、貨櫃承攬比例等變數對航線泊靠港選擇之影響。
7. 彭信坤(1993)利用空間經濟學之區位理論，探討使航商利潤最大化之泊靠港選擇及各港裝卸量等決策。
8. 許志成(1997)建立一個最小成本之整數規劃模式，求解在固定船舶數目下，船隊之航行路線並評估其經濟效益。
9. 陳春益、張永昌(1997)以國內某航商之美西至東亞航線為例，探討定期貨櫃船之泊靠港選擇問題，並以區位選擇之觀念建立一最小成本之混合整數規劃模式進行實例分析，模式主要特點係納入定期定港泊靠原則之考量。
10. 郭塗城、朱經武(2000)提出停靠港口選擇是定期船經營的重要決策之一，在實務上，定期船業者幾乎都憑經驗就有限替選方案決定停靠港口，未見應用數學模式幫助決定停靠港口，因此作者發展一個數學規劃模式供定期船業者決定新航線或檢討舊航線之停靠港口。構建的數學模式以追求營運利潤最大化為目標，模式除一般模式考慮的成本外，特別將航次週期時間、船舶裝載量限制等因素納入考慮。經以假設範例測試，結果顯示其模式能充分反應決策情境之變化。最後，作者提出其模式與許多先前研究一樣假設港際間貨運量為已知，此假設可能與實際情況有出入，未來研究應突破此一假設，如能發展業者競爭模式取代貨運量固定之假設，則定期船停靠港口決策模式將更臻成熟。
11. 盧華安(2000)探討定期貨櫃航線設計之內容與航商之規劃流程，並據以構建航線設計之數學規劃模式，其中除考量航線排程(routing)、服務船舶

數量與航線週期外，亦藉由艙位配置(capacity allocation)概念將規劃港口間之載運需求納入考慮。

12. 陳春益、邱明琦(2001)考量航線設計之基本實務因素(如往返繞行、航段容量限制等)，以及航運之發展趨勢(如聯營化、網路化等)等因素，據以構建一貨航線網路設計模式，以協助航商以更有效率之方式進行航線規劃設計作業。該研究的特點主要係以網路流量之觀念來探討航線設計問題，並透過基本網路架構之建立，來表述航線網路設計問題，及作為數學模式構建之基礎。文中除構建航線網設計之數學模式外，並以簡例分析測試運算結果之合理性。

2.2 靠泊港選擇

過去研究多探討一般靠泊港的選擇問題，近年來我政府欲推動高雄港成為亞太海運中心，國內陸續有不少學者專家針對海運轉運中心之選擇問題做探討。

2.2.1 一般靠泊港之選擇

一般靠泊港選擇問題之文獻，按其研究方法可分為問卷調查法與數學規劃法兩類。

1. 問卷調查法

Murphy et al. (1989) 為確認國籍差異是否影響港埠選擇以及港埠當局與航商之立場是否一致，曾以問卷調查方式對港埠當局與航商之高階主管進行訪查。其後，Murphy et al. (1992)進一步探討問卷回覆者的角色是否對於港埠選擇有明顯差異，其將問卷填答者分為國際港埠經營者、航商、貨運承攬業、美國大型貨主與小型貨主五大群

體，進行問卷調查，其研究結果指出兩兩群體間對於各準則之評價各不相同。

2. 數學規劃法

Riendeau(1977)針對航商港埠選擇課題，發展出一套選擇模式，文中指出：在海洋運輸領域，航商是影響選擇之最後決策者，並且明言運費在評估港埠選擇的效度上，遠不如航運成本來得重要，因為於固定航線上通常存在有海運同盟(maritime conferences)，因而此篇的選擇模式即從航運成本出發，建立一北大西洋與南大西洋間貨櫃運輸港埠選擇模式。

彭信坤(1983)利用空間經濟學之區位理論，探討使航商利潤最大化之泊靠港選擇及各港裝卸量等決策。

董孝行(1986)建立一非線性迴歸模式，分析船型、貨櫃承攬比例等變數對航線泊靠港選擇之影響。

Wu(1988)針對台灣地區航商選擇單靠高雄港或雙靠基高兩港進行航運成本分析，文中將貨櫃航運成本分為港埠成本及時間成本。

陳春益、張永昌(1997)以國內某航商之美西至東亞航線為例，探討定期貨櫃船之泊靠港選擇問題，並以區位選擇之觀念建立一最小成本之混合整數規劃模式進行實例分析，模式主要特點係納入定期定港泊靠原則之考量。

楊士益(1999)探討定期貨櫃航商聯營對選擇泊靠港之影響。定期航運業者之聯營有助於降低航線營運成本與擴大營運服務範圍，文中分別就單航線聯營與多航線聯營做分析，在單航線方面探討共同派船對選擇泊靠港之影響，在多航線聯營乃探討艙位聯營(含互租、互換與租用)對泊靠港埠數量與貨櫃轉運量之影響。實例研究以國內某航商與國外航商聯營之美東航線與美西航線為研究對象。

郭塗城、朱經武(2000)提出停靠港口選擇是定期船經營的重要決策之一，在實務上，定期船業者幾乎都憑經驗就有限替選方案決定停靠

港口，未見應用數學模式幫助決定停靠港口，因此作者發展一個數學規劃模式供定期船業者決定新航線或檢討舊航線之停靠港口。構建的數學模式以追求營運利潤最大化為目標，模式除一般模式考慮的成本外，特別將航次週期時間、船舶裝載量限制等因素納入考慮。經以假設範例測試，結果顯示其模式能充分反應決策情境之變化。最後，作者提出其模式與許多先前研究一樣假設港際間貨運量為已知，此假設可能與實際情況有出入，未來研究應突破此一假設，如能發展業者競爭模式取代貨運量固定之假設，則定期船停靠港口決策模式將更臻成熟。

2.2.2 海運轉運中心之選擇

海運轉運中心選擇問題之文獻，按其研究方法可分為港埠競爭力比較法與成本分析法兩類。

1. 港埠競爭力比較法

倪安順(1996)就亞太地區香港、新加坡、釜山、神戶、上海與台灣三大國際港埠進行競爭力與效率調查分析。港灣技術研究所(1996)依照航商選擇轉運中心之原則，逐條分析比較高雄港與鄰近港埠之各項條件。徐振偉(1996)研究航商之區域營運中心選擇行為，探討因素間的交互關係及對航商之影響程度。其他如黃玉梅(1997)、高雄港務局(1998)、交通部運輸研究所(1993)等，亦進行港埠競爭力的比較與分析。

2. 成本分析法

戴輝煌(1992)援引 Wu(1988)之模式建構方式，就高雄港與香港轉運貨櫃地位，建立航商選擇轉運中心成本模式，其模式主要觀念為平均節省成本，即假設收益相同前提下，航商尋求單位運輸成本最小之轉運港埠。

王鴻仁(1998)運用戴輝煌(1992)建立之平均成本節省(ACS)模式，針對航商以高雄港為貨櫃轉運中心之需求作探討，以香港、上海港及

高雄港等兩岸三地為基礎，輔以亞太地區可能利用此三港作為轉運港之集貨港，如馬尼拉港、胡志明港、青島港及廈門港，探討航商將高雄港納入其貨櫃轉運航線之經營特性，並特別關注其調派船型的發展，藉以衡量其對高雄港之衝擊及研擬因應之道，為政府發展台灣為亞太海運轉運中心之政策提供有參考價值的資訊。

第三章 高雄港貨櫃轉運現況分析

3.1 貨櫃海運發展趨勢分析

貨櫃運輸的興起與發展使得海運邁向重要里程碑，透過特殊設計的貨櫃船來運載貨櫃從事國際貿易，其所帶來的經濟效益已非傳統式的一船雜貨船所能比擬。基本上貨櫃運輸其所帶來的效益包括作業簡化、運輸責任專一、裝卸迅速、貨物運輸安全、貨物包裝費用減低、貨物保險費用節省、運輸管制系統易於以電腦控制等種種優點。因此近二十年來，貨櫃海運蓬勃快速成長，已取代了傳統的雜貨船運送，成為定期船業務的主流。本節將就目前貨櫃海運發展之趨勢作一探討。

3.1.1 貨櫃船型大型化

1. 貨櫃運輸之發展沿革

貨櫃運輸始於第二次世界大戰，美運為運輸龐大的運需品至世界各地，使用一種稱為 Conex 的小型貨櫃，以達到「戶及戶」(door to door) 的運輸目的。而商業用貨櫃海運始於 1957 年美國的泛大西洋船運公司(Pan Atlantic Steamship Co.)，即海陸公司(Sea-Land)的前身，首先改裝六艘雜貨船以裝載貨櫃，使用長、寬、高各為 35*8*8 呎之貨櫃，航行於紐約、休士頓與波多黎各之間。隔年，Matson Navigation 公司也開始經營加州與夏威夷之間的貨櫃海運，其使用長、寬、高各為 24*8*8 呎。此期間貨櫃海運的發展僅止於美國及澳洲，航程屬短程的沿海運輸及國內航線，船舶以改裝的半貨櫃船為主，容量約 500TEU，貨櫃船上多自備有起重機，僅少數碼頭備有橋式起重機，此為貨櫃海運的萌芽期。

1966 年 4 月美國海陸公司開闢橫越大西洋之貨櫃航線，航行於美國休士頓、紐約與荷蘭鹿特丹、英國普萊茅滋港，貨櫃海運開始進入國際航運時代，航商興建 700~1,000TEU 的全貨櫃輪，航行於大西

洋與太平洋上，發展地區涵蓋美、歐、日、澳等先進國家，裝卸設施以碼頭橋式起重機為主，轉運構想也產生，此時為貨海運的成長期。

1971 年，遠東—歐洲航線開闢，各主要航線相繼出現大型之全貨櫃輪，以 2,000TEU 之巴拿馬極限型貨櫃船為遠洋運輸主力。轉運服務、海陸複合運輸相繼興起，發展地區也延展至東南亞、中東、南非等地，航商間也開始有策略聯盟等合作關係，此時為貨櫃海運的茁壯期。

1984 年，長榮海運與美國的美利堅航運公司相繼開闢環球航線(Round the World Service)，出現 3,000TEU 之大型全貨櫃輪，主次航線交織綿密，建立出海運的軸輻網路系統，發展地區延伸至中南美、非洲等地，裝卸機具也趨向大型、自動化，海運與陸空運的配合也日趨熱絡，此時為貨櫃海運的成熟期。

2.貨櫃船大型化

自貨櫃海運進入成熟期後，世界各主要貨櫃航線的運送船型趨向大型化，遠洋航線船東為降低營運成本，紛紛建造大型貨櫃船，以迎接日益競爭激烈的貨櫃航運市場。以 1997 年至 2003 年之世界各型貨櫃船的數量多寡來看(如表 3.1 所示)，可以發現 1,000TEU 以下的貨櫃船數之比例從 1997 年的 34.9%降至 2003 年的 32.0%，1000~2000TEU 貨櫃船數之比例從 1997 年的 34.4%降至 2003 年的 29.4%，而 4000TEU 以上貨櫃船數的比例由 1997 年的 5.9%升至 2003 年的 14.2%，明確顯示整體貨櫃船的船型正朝向大型化。

表 3.1 1997~2003 年世界各型貨櫃船之數量統計

船型 (TEU)	1997 年		1999 年初		2003 年(5 月)	
	艘數	比率(%)	艘數	比率(%)	艘數	比率(%)
0-499	344	18.8%	384	16.4%	422	13.8%
500-999	295	16.1%	381	16.3%	559	18.3%
1000-1999	629	34.4%	797	34.0%	899	29.4%
2000-2999	304	16.6%	408	17.4%	471	15.4%
3000-3999	148	8.1%	179	7.6%	275	9.0%
4000-4999	92	5.0%	149	6.4%	209	6.8%
5000-5999	17	0.9%	43	1.8%	135	4.4%
6000 以上	0	0.0%	0	0.0%	93	3.0%
總計	1829	100.0%	2341	100.0%	3063	100.0%

資料來源：Containersation Internation.

貨櫃船大型化的發展腳步極快，特別是在 1990 年之後，最大型貨櫃船的船舶尺寸是以每二年或更短的時間加速突破，在 1991 年最大型貨櫃船為 4,400TEU，在 1996 年為 6000TEU，到了 2001 年為 Hapag Lloyd 的 7500TEU 貨櫃船，而今年(2003 年)OOCL 的貨櫃船已達 8000TEU，為目前投入營運之最大型貨櫃船。航運專家相信超大型貨櫃船出現的年代已經不遠了，短期內 9000TEU 貨櫃船將被引進越太平洋航線與亞洲—歐洲航線，而在 5~10 年內可能引進 12500TEU 的超大型貨櫃船。(王克尹，2003；郭石盾，2003)

3.1.2 聯營合作盛行

為改善全面之營運經濟，海運企間無論是運盟或盟外獨立船公司，及籌組聯營集團(Consortium)，展開的協同船期和互租艙位之聯營

合作(Joint Venture)，其主要目的乃是船公司不僅可增加資產設備之利用以降低營運成本，且可提昇服務品質，進而增加載運高價值及具時間效用商品之競爭力，以達到改善投資報酬率之作用。

另一方面，聯營合作增加班次，可提供託運人在託運時較大的選擇彈性，滿足其產銷「零庫存」與「及時供應」(JIT Inventory)之需求，頗受託運人所肯定。展望未來，聯營合作將更盛行於世界各主要定期航線。

3.1.3 航線軸心(hubbing)化

由於貨櫃化運輸發展結果，全球貨櫃海運航線已發展出海運的軸輻系統。即在航運網路中選擇數個港埠為軸心港(hub)，以大型貨櫃船—母船(mother ship)航行於軸心港與軸心港之間的主航線，而以小型貨櫃船—集貨船(feeder ship)航行於軸心港與地區港埠(集貨港)之間的集貨航線。主航線服務洲際間貨物往來，主要有越太平洋航線(Trans-Pacific)航線、越大西洋(Trans-Atlantic)航線、亞洲—歐洲航線、亞洲—澳洲航線等，集貨航線主要服務洲內或區域內，如中國—日本集貨航線、新加坡—印尼泗水集貨航線。一般而言，集貨船可裝載300TEU至2,000TEU不等，母船則逐漸朝向大型化至5,000TEU以上發展。

3.2 高雄港地理位置與貨櫃航線分析

高雄港位於東北亞、東南亞及中國大陸間之要衝，並為歐洲、亞洲、美洲全球貿易及航路必經之處，地緣位置極佳。對於服務遠東至北美地區間的越太平洋航線而言，航商在航運成本與船舶調配之考量下，船隊通常經過東北亞之日本、韓國後，在到達香港與台灣後便往東折返，因此香港及台灣成為此航線之最西側邊界，而對於服務遠東至歐洲間的亞洲—歐洲航線而言，通常以新加坡為最東側邊界，則兩大主要航線間的遠東地區逐漸形成東北亞以釜山、神戶為轉運中心、

東南亞以新加坡為轉運中心，東亞以香港、上海、高雄為轉運中心的軸輻海運系統。

高雄港位居主航線之樞紐位置，可連結短程接駁(集貨)航線及長程遠洋航線，與高雄港相關之主要航線包括下列三大主要貿易航線：

1.越太平洋航線：

為連接北美西岸之加拿大、美國與東北亞、中國大陸北部、與台灣、香港之主要航線。

2.經蘇伊士運河往美東、歐洲之航線：

由蘇伊士運河往來歐洲、美東至印度、中國大陸和東南亞。

3.亞洲區內之航線：

連接東北亞、東亞及東南亞各港埠間之貿易路線。

上列所謂的越太平洋航線係以美西—台灣為主，而往美東、歐洲航線以美東—台灣、歐洲—台灣航線為主，亞洲區內航線則包括台灣至東北亞、東南亞各國與香港、中國大陸之間之航線。

高雄港與世界各區域間的貨櫃貿易往來運量，可由 2002 年之貨櫃數量統計顯示(如表 3.2)。表中顯示：高雄港與北美間的貨櫃往來量最大，有 41.4 萬個貨櫃(25.64%)，與大陸、香港間的貨櫃往來量其次，有 30.3 萬個貨櫃(18.76%)，與歐洲間的貨櫃往來量第三高，有 30.2 萬個貨櫃(18.73%)，與東南亞間的貨櫃往來量第四高，有 19.0 萬個貨櫃(11.80%)，與東北亞間的貨櫃往來量第五高，有 14.9 萬個貨櫃(9.24%)，而與其他亞洲地區、紐澳、或中南美洲、非洲間的貨櫃往來量較少。

表 3.2 2002 年高雄港與世界各區域間往來貨櫃量統計

單位：貨櫃個數

地區別	進口數量	進口比例	出口數量	出口比例	進出口總量	總量比例
東北亞	89,868	13.37%	59,537	6.31%	149,405	9.24%
大陸香港	56,219	8.36%	247,016	26.17%	303,235	18.76%
東南亞	102,894	15.30%	87,828	9.31%	190,722	11.80%
印度中東	11,397	1.69%	30,262	3.21%	41,659	2.58%
亞洲其他地區	27,140	4.04%	58,872	6.24%	86,012	5.32%
非洲	18,966	2.82%	17,387	1.84%	36,353	2.25%
北美	162,569	24.18%	251,757	26.68%	414,326	25.64%
中美	3,325	0.49%	20,126	2.13%	23,451	1.45%
南美	10,479	1.56%	9,357	0.99%	19,836	1.23%
紐澳大洋洲	28,907	4.30%	19,520	2.07%	48,427	3.00%
歐洲	160,645	23.89%	142,103	15.06%	302,748	18.73%
合計	672,409	100.00%	943,765	100.00%	1,616,174	100.00%

資料來源：交通部統計處(2003)「中華民國九十一年交通統計要覽」。

3.3 高雄港貨櫃碼頭營運現況

高雄港是台灣最大的國際商港，位於台灣西南海岸，扼台灣海峽與巴士海峽海運交匯之要衝，地緣位置佳，且港域遼闊，腹地廣大，氣候溫和，臨海有狹長沙洲形成天然外廓屏障，地理條件優良，港灣形勢天成，為一天然良港。

高雄港現有土地面積 17,678 公頃，其中陸域面積 1,442 公頃，佔全港面積之 8.2%，水域面積 16,236 公頃，佔全港面積之 91.8%，港區配置以碼頭作業區為主，其次為工業區，其餘則為港務行政、漁港、造船廠、台電、中油等用地。港區平面圖如圖 3.1 所示。

高雄港目前進出港航道有第一港口及第二港口，第一港口水深 11 公尺，有效寬度 100 公尺，航道寬 80 公尺，可通行 3 萬噸級船舶，第二港口之內港口水深 16 公尺，有效寬度 250 公尺，航道寬 140 公尺，可通行 10 萬噸級船舶。現有航道全長 18 公里，主航道 12 公里，支航道 6 公里。碼頭合計 118 座，全長 26.6 公里，其中貨櫃碼頭 26 座、雜貨碼頭 32 座、散裝碼頭 29 座、穀類碼頭 3 座、客輪、軍用、親水休憩、港勤、工作船碼頭共 28 座，繫船浮筒 22 組，同時可供 155 艘各類船舶靠泊。各型港勤船舶 103 艘，各種類型之裝卸機具二千餘件，可供支援任何船舶及裝卸作業。現有倉庫和通棧 76 棟，總容量 900,886 公噸，露置堆置場 9 處，總容量 43,947 公噸。

高雄港海運網遍及世界五大洲，年貨物吞吐量約八千餘萬公噸，佔全台灣三分之二的進出口量，進港貨物以能源礦產品為大宗，出港貨物以化學製品為最多。輸入貨物主要來自澳洲、美國、沙烏地阿拉伯及日本，而輸出貨物則以香港、日本及美國為主要目的地。在民國 91 年全港貨櫃營運量為 849 萬 TEU，名列世界各貨櫃港的第五名。

高雄港自民國 58 年起陸續興建五個貨櫃儲運中心，現有營運碼頭 26 座，營運碼頭總長度 6,119 公尺。營運方式以租賃為主，公用為輔。公用碼頭 3 座 租賃碼頭 23 座，其中租賃碼頭分別租給連海裝卸公司、萬海航運公司、東方海外公司(OOCL)、美國總統輪船公司(APL)、陽

明海運(YML)、現代商船公司(HYUNDAI)、快桅輪船公司(MAERSK)、韓進海運、長榮海運(EMC)、日本郵船等 10 家公司。各貨櫃碼頭的使用單位、長度、寬度、水深與裝卸設備詳如表 3.3。

公用碼頭後線的貨櫃場或港務局自行經營或租賃予貨櫃裝卸公司；出租碼頭後線的貨櫃場、貨櫃集散站則由承租碼頭之公司自行經營或委託集散站業者經營。各貨櫃儲運中心後線貨櫃場面積如表 3.4。主要裝卸機具包括橋式起重機、跨載機、門式起重機、堆高機、拖車等。碼頭裝卸作業主要以橋式起重機為主，而碼頭與堆置場間之作業則以跨載機、拖車為主。各貨櫃儲運中心分別說明如下：

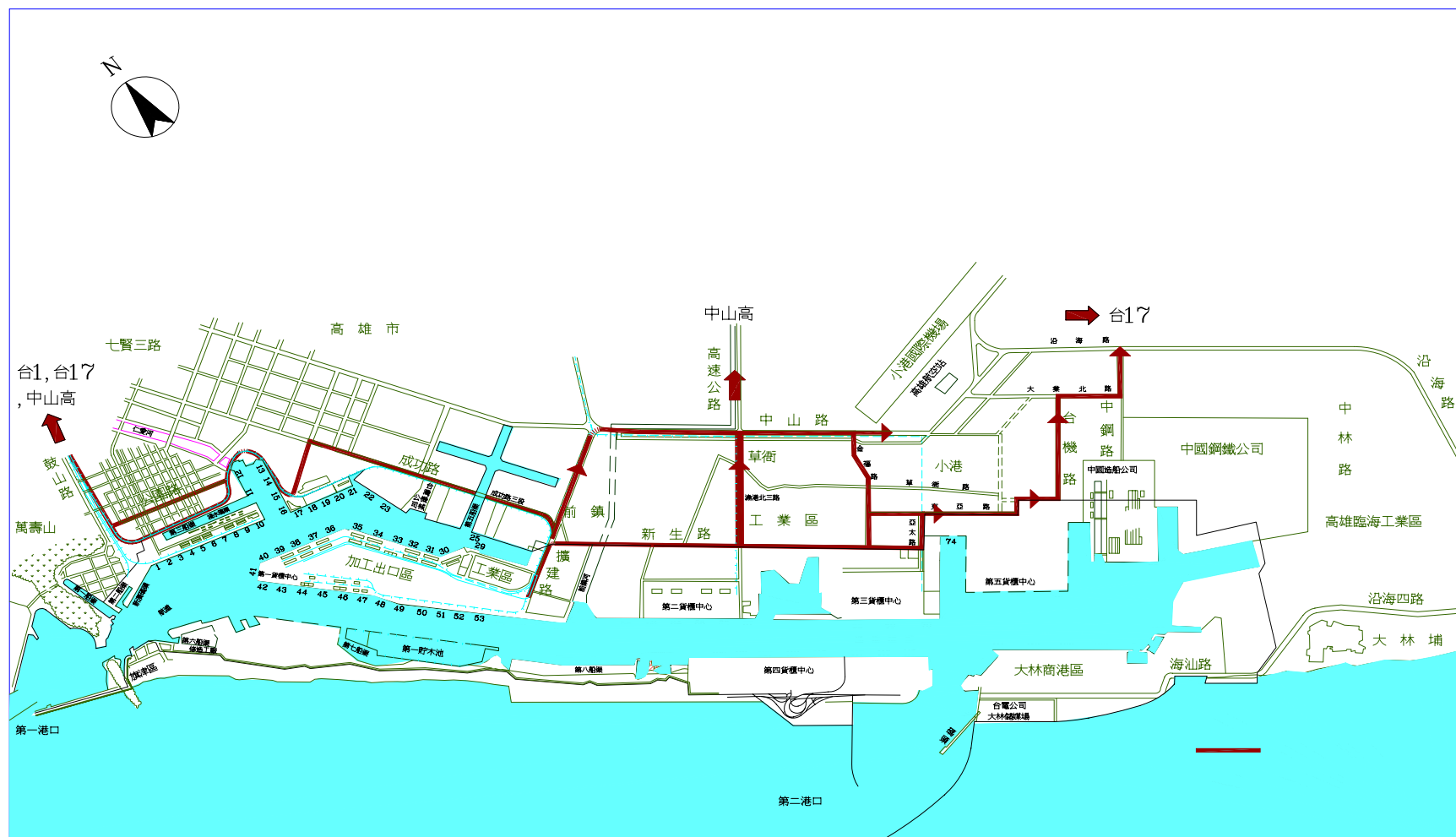


圖 3.1 高雄港平面圖

1.第一貨櫃儲運中心

位於中島商港區，擁有#40~#43 等 4 座碼頭，碼頭全長 848.88 公尺，碼頭水深 10.5 公尺，後線貨櫃場面積 10.5 公頃，可儲放貨櫃 2,500TEU(雙層)，棧庫面積 5,110 平方公尺，容量 6,600 公噸。#40、#41 號碼頭為公用碼頭，由港務局自營，為配合自備吊桿船舶停靠，未裝橋式起重機；#42、#43 碼頭及整個第一貨櫃儲運中心之後線貨櫃場出租給連海裝卸公司使用，在#42、#43 號碼頭共裝設貨櫃起重機 3 台。

2.第二貨櫃儲運中心

位於前鎮商港區，擁有#63~#66 等 4 座碼頭，全長 1,204.71 公尺，碼頭水深 12.0 公尺，後線貨櫃場面積 45 公頃，可儲放貨櫃 12,576TEU(雙層)，共裝設貨櫃起重機 9 台。#63、#64 碼頭租給萬海航運公司，#65、#66 租給東方海外公司。

3.第三貨櫃儲運中心

位於小港商港區，擁有#68~#70 等 3 座碼頭，全長 1,072.73 公尺，碼頭水深 14.0 公尺，後線貨櫃場面積 48.6 公頃，可儲放貨櫃 17,322TEU(三層)，裝設貨櫃起重機 11 台。#68、#69 租給美國總統輪船公司(APL)，而#70 租給陽明海運公司(YML)。

4.第四貨櫃儲運中心

位於中興商港區，擁有#115~#122 等 8 座碼頭，全長 2,533.03 公尺，碼頭水深 14.0 公尺，後線貨櫃場面積 100 公頃，可儲放貨櫃 35,000TEU，裝設貨櫃起重機 19 台。#115~#117 租給長榮海運公司，#118、#119 租給快桅輪船公司，#120 租給陽明海運公司，#121 租給日本郵船公司，#122 為公用碼頭。

表 3.3 高雄港現有貨櫃碼頭及裝卸設施

基地	碼頭 編號	使用單位	長 度 (公尺)	寬 度 (公尺)	設計水深 (公尺)	起重機 配置
第一 貨櫃 儲運 中心	40	公用	214.17	30	10.5	0
	41	公用	204.53	30	10.5	0
	42	出租(連海)	242.68	30	10.5	2
	43	出租(連海)	187.50	20	10.5	1
第二 貨櫃 儲運 中心	63	出租(萬海)	274.90	30	12.0	2
	64	出租(萬海)	245.46	30	12.0	2
	65	出租(東方海外)	244.43	30	12.0	2
	66	出租(東方海外)	439.92	30	12.0	3
第三 貨櫃 儲運 中心	68	出租(APL)	432.16	30	14.0	3
	69	出租(APL)	320.00	50	14.0	4
	70	出租(陽明)	320.57	50	14.0	4
第四 貨櫃 儲運 中心	115	出租(長榮)	276.86	30	14.0	3
	116	出租(長榮)	320.02	30	14.0	3
	117	出租(長榮)	320.00	30	14.0	2
	118	出租(快桅)	320.00	30	14.0	2
	119	出租(快桅)	320.00	30	14.0	3
	120	出租(陽明)	320.00	30	14.0	3
	121	出租(日本郵船)	320.00	30	14.0	3
第五 貨櫃 儲運 中心	122	公用	336.33	30	14.0	0
	75	出租(現代)	319.93	33	14.0	3
	76	出租(快桅)	320.07	33	14.0	2
	77	出租(快桅)	356.01	39	15.0	4
	78	出租(韓進)	320.00	38.10	15.0	3
	79	出租(長榮)	355.00	38.46	15.0	4
	80	出租(長榮)	340.00	32	14.0	2
	81	出租(長榮)	120.00	32	14.0	2

資料來源：高雄港務局網站(<http://www.khb.gov.tw>)之高雄港港灣設施(2003.12.17)。

5.第五貨櫃儲運中心

位於大仁商港區，擁有#74~#81 等 8 座碼頭，其中#74 為雜貨碼頭，而#75~#81 為貨櫃碼頭，7 座貨櫃碼頭之碼頭全長 1,990 公尺，碼頭水深 14.0~15.0 公尺，後線貨櫃場面積 90 公頃，可儲放貨櫃 49,000TEU，裝設貨櫃起重機 20 台。目前#75 租給現代商船公司，#76~#77 租給快桅輪船公司，#78 租給韓進海運公司，#79~#81 租給長榮海運公司。

表 3.4 各貨櫃儲運中心後線的貨櫃場面積與容量

第一貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 105,000 平方公尺， 容量 2,500TEU(雙層)。
第二貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 450,000 平方公尺， 容量 12,576TEU(雙層)。
第三貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 486,000 平方公尺， 容量 17,322TEU(三層)。
第四貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 100 公頃， 容量 35,000TEU。
第五貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 90 公頃(含#74 後線)， 容量 49,000TEU。

資料來源：高雄港務局網站(<http://www.khb.gov.tw>)之高雄港港灣設施(2003.12.17)。

第四章 成本函數構建

基於航商做航運規劃時，不僅考慮自身負擔的航運成本，亦會顧慮貨主需求將貨物存貨成本納入考量，本章提出以追求航運成本與貨物存貨成本最小化為兩分別目標，做為轉運港決策與進行貨櫃轉運成本分析之基礎。首先在第一、二節考慮定期貨櫃航運服務具有多港靠泊的特性，針對多港靠泊航線分析貨櫃運送過程之各項成本，構建航運成本函數與貨物存貨成本函數，然後在第三節推導兩成本間的數學關係式，並分析貨櫃船型與頻次的決策問題。內容主要援引許巧鶯、謝幼屏(2003)在分析貨櫃海運航線之船型與頻次決策問題時所構建的成本函數。

文中的貨櫃船係指全貨櫃船(full container ship)，貨櫃以普通乾櫃為討論對象且以 TEU 為單位，分析以季為時間單位。

考慮一多港靠泊航線，運送路線從第 1 個靠泊港開始，經過第 2 個靠泊港、第 3 個靠泊港、...、至第 n 個靠泊港後返回第 1 個靠泊港。此 n 個靠泊港可以是完全不同的港口(如圖 4.1a 所示)，亦可以有港口在去程與回程時各靠泊一次而使得部份靠泊港是相同的港口(如圖 4.1b 所示)。各靠泊港間的貨物流量確定，以 $Q_{ij}(i,j=1,2,\dots,n)$ 表示由第 i 個靠泊港至第 j 個靠泊港的貨物流量，當 $i=j$ 時 $Q_{ij}=0$ 。航商使用 t 型貨櫃船提供運送頻次(sailing frequency)為 f 次/季的航運服務。

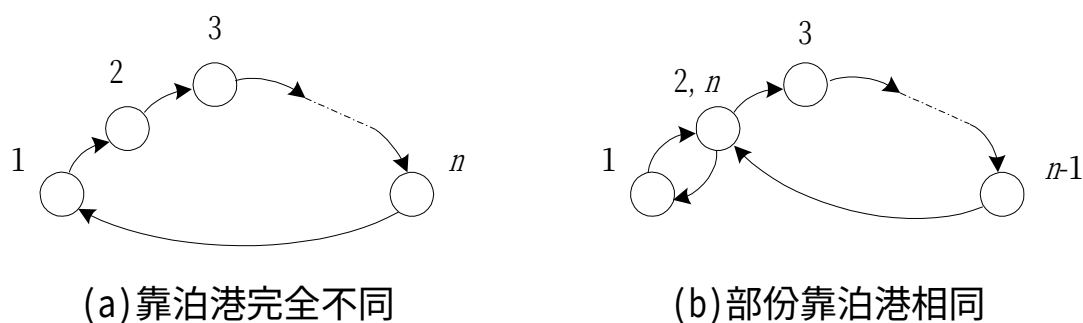


圖 4.1 貨櫃船之運送路線

以下探討影響各項成本之因素，推導航運成本與貨物存貨成本函數的數學式。

4.1 航運成本函數

航運成本包括船舶時間成本、船舶燃油成本與港埠成本三部份。

4.1.1 船舶時間成本

船舶時間成本表示航商對於所屬船舶每日須固定花費或分攤的各項費用之總和，包括了擁有貨櫃船所需負擔的資本成本，以及船員薪資、伙食、船舶修理與維護、保險、物料配件、淡水、潤滑油、分攤之管理費用等營運成本。船舶時間成本會因船型(t)大小而異，通常大型貨櫃船的建造成本較高，使得大型貨櫃船的平均每日船舶時間成本高於小型貨櫃船。此外，船舶時間成本與船舶的營運時間長度成正比，貨櫃航線的航行時間愈長，運送頻次愈高，則船舶時間成本亦愈高。

一航次的航行時間包括了船舶在海上的時間以及在各靠泊港的滯港時間。貨櫃船在一港口的滯港時間可以分為二部份，一是裝卸時間，為貨櫃船靠泊碼頭之貨櫃裝卸時間，包括等待開工時間、實際裝卸時間與裝卸過程中的暫停時間(如換班或用餐)，此一時間可由貨櫃裝卸量與該港的工作效率推估，以 R_i 表示第 i 個靠泊港的毛裝卸效率(gross handling rate, TEU/小時)，則貨櫃船在第 i 個靠泊港的裝卸時間為該港的貨櫃裝卸量除以毛裝卸效率，為 $\frac{1}{fR_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ 小時；二是進出港時間，包括貨櫃船進離港口所需的內港航行時間與進出港口可能發生等待延誤的時間，此一時間可由港口的平均貨櫃船進出港等待時間與航行時間估算，以 W_i (小時)表示第 i 個靠泊港的進出港時間，則貨櫃船在第 i 個靠泊港的滯港時間為 $\frac{1}{24} W_i + \frac{1}{24fR_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ 日，一航次的總滯港時間為 $\frac{1}{24} \sum_{i=1}^n W_i + \frac{1}{24f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right)$ 日。貨櫃船在海上的時間為總航程

除以服務航速，以 D_i 表示航線上第 i 個靠泊港與下一個靠泊港間的航行距離， V_t 表示 t 型貨櫃船的服務航速(海浬／小時)，則一航次的總海上時間為 $\frac{1}{24V_t} \sum_{i=1}^n D_i$ 日。

以 S_t 表示 t 型貨櫃船的平均每日船舶時間成本，船舶時間成本為平均每日船舶時間成本(S_t)、運送頻次(f)與一航次的航行時間三者之乘積，為 $\frac{fS_t}{24} \sum_{i=1}^n (W_i + \frac{D_i}{V_t}) + \frac{S_t}{24} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right)$ 。

4.1.2 船舶燃油成本

船舶燃油成本表示航商為使船舶航行所需耗費之燃料費用。考慮貨櫃船在海上航行時多保持服務航速，燃油成本與航行距離成正比，並隨船型的增大而增加，而貨櫃船在進入港區時會減速慢行，耗油狀況與在海上不同，且自進入港口至靠泊碼頭尚需航行一段距離，當港域愈大時相對的港內航行距離會增加，則貨櫃船在港埠的燃油成本除與船型相關外，並會因港而異。以 F_t 表示 t 型貨櫃船在海上的單位距離燃油成本， B_{it} 表示 t 型貨櫃船在第 i 個靠泊港的燃油成本，則一航次的船舶燃油成本為 $\sum_{i=1}^n (F_t D_i + B_{it})$ ，整季的總船舶燃油成本為

$$f \sum_{i=1}^n (F_t D_i + B_{it})。$$

4.1.3 港埠成本

港埠成本為航商在各港埠所耗費之成本，主要包括港灣費用與棧埠費用二部份。港灣費用為船舶在港埠所需支付的各項費用，一般包括領航費、曳船費、帶解纜費與碼頭碇泊費等；棧埠費用為處理貨櫃裝卸所需支付之人工與機械費用，一般包括貨櫃裝卸費、貨櫃碼頭通過費、機械使用費與貨櫃場租金等。

在港灣費用方面，各港收費標準不同，通常依據貨櫃船的總噸位(或容量)、靠碼頭時間長短來收取各項港灣費用，所以港灣費用會隨船型

(t)變大而增加，隨靠碼頭之裝卸時間增加而增加。以 α_{it} 與 β_{it} 表示 t 型貨櫃船進入第 i 個靠泊港之港灣費用的固定部份與隨靠碼頭之裝卸時間變動部份，則整季在第 i 個靠泊港的港灣費用為固定費用($f\alpha_{it}$)加上變動費用(β_{it})與靠碼頭之裝卸時間($\frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$)乘積，為 $f\alpha_{it} + \frac{\beta_{it}}{R_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ，則整季的總港灣費用為所有靠泊港的港灣費用之和，為 $f \sum_{i=1}^n \alpha_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\beta_{it}}{R_i} (Q_{ij} + Q_{ji})$ 。

在棧埠費用方面，考慮貨櫃是利用岸上機具進行裝卸，以 G_i 表示在第 i 個靠泊港處理單位貨櫃(TEU)的平均處理成本，則在第 i 個靠泊港的棧埠費用為在第 i 個靠泊港的貨櫃總裝卸量($\sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$)與單位貨櫃處理成本(G_i)之乘積，為 $G_i \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ，一季的總棧埠費用為所有靠泊港棧埠費用之和，為 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_i (Q_{ij} + Q_{ji})$ 。

港埠成本為港灣費用與棧埠費用之和，為 $f \sum_{i=1}^n \alpha_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{\beta_{it}}{R_i} + G_i \right) \cdot (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]$ 。

以 $TC1(t, f)$ 、 $AC1(t, f)$ 分別表示整季的總航運成本與單位貨櫃航運成本，則

$$TC1(t, f) = f \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + \frac{S_t W_i}{24} + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{24 V_t} + F_t \right) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{24 R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right] \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

$$AC1(t, f) = \frac{TC1(t, f)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} = \frac{f \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + \frac{S_t W_i}{24} + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{24V_t} + F_t \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{24R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

4.2 貨物存貨成本函數

存貨成本表示貨物在運送過程中由於不能被使用、出售的價值損失或所需負擔的機會成本，與儲存量、貨物價值和存貨時間有正向關係。在此僅考慮因為航運服務所發生的存貨成本，包括了貨櫃在港口的等待時間成本與在船上的航運時間成本。前者為運送頻次多寡造成貨櫃在出發港或產地等待時所發生的等待時間成本，若航班密集則此項成本低，若航班稀少則此項成本高；後者為貨櫃在船上運送時所發生的航運時間成本，整個航運時間愈長，存貨成本愈高。至於貨物到達目的港後，雖可能因為通關或檢疫等因素而延遲貨物的運送，但此與航商航運服務已無關係，故不考慮此部份的存貨成本。

4.2.1 等待時間成本

貨櫃在出發港等待船舶的平均等待時間為運送週期的二分之一，若一季以 13 週(91 日)表示，則平均等待時間為 $\frac{91}{2f}$ 日。以 H 表示單位貨櫃貨物的每日平均時間價值，則整季的總等待時間成本為總貨物流量($\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$)、單位貨櫃平均等待時間($\frac{91}{2f}$)與貨物時間價值(H)三者的乘積，為 $\frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ 。

4.2.2 航運時間成本

貨櫃在船上運送時所發生的航運時間成本可由貨櫃在船上的航運

時間乘以貨物時間價值(H)估算。不過，貨櫃在船上的航運時間因起迄港不同而異。以 T_{ij} (日) 表示在航線上貨櫃由第 i 個靠泊港至第 j 個靠泊港的航運時間，則 T_{ij} 包括由第 i 個靠泊港至第 j 個靠泊港之間所有經過航段的航行時間與所有經過港口的滯港時間。其中貨物在出發港與目的港的時間不易估算，基於起迄端時間相對於整個航運時間而言不大，以出發港的滯港時間概算，則貨櫃由第 i 個靠泊港至第 j 個靠泊港的航運時間(T_{ij})可表示如下：

$$\begin{aligned} T_{ij} &= \frac{1}{24} \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left[W_k + \frac{1}{fR_k} \sum_{l=1}^n (Q_{kl} + Q_{lk}) + \frac{D_k}{V_t} \right] \\ &= \frac{1}{24} \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{1}{24f} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{\delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

式中 δ_{ijk} 為 0,1 變數，

$$\delta_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{航線上由第 } i \text{ 至第 } j \text{ 個靠泊港的貨櫃有經過第 } k \text{ 個} \\ & \text{靠泊港以及第 } k \text{ 個靠泊港與下一靠泊港間的航段, } \dots\dots(4.4) \\ 0, & \text{沒有經過。} \end{cases}$$

則由第 i 至第 j 個靠泊港的貨櫃航運時間成本為貨物流量(Q_{ij})、運送時間 (T_{ij}) 與 貨 櫃 時 間 價 值 (H) 三 者 之 乘 積，為

$$\frac{HQ_{ij}}{24} \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{HQ_{ij}}{24f} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{\delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})。 \text{所有貨櫃的航運時間成本為}$$

$$H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Q_{ij} T_{ij}) = \frac{H}{24} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{H}{24f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})。$$

總貨物存貨成本為等待時間成本與航運時間成本之和，以 $TC2(t, f)$ 、 $AC2(t, f)$ 表示總貨物存貨成本與單位貨櫃存貨成本，則

$$\begin{aligned} TC2(t, f) &= \frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} + \frac{H}{24} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) \\ &\quad + \frac{H}{24f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\begin{aligned}
AC2(t, f) = \frac{TC2(t, f)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} = \frac{91H}{2f} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right)}{24 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \\
+ \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})}{24f \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \dots\dots\dots(4.6)
\end{aligned}$$

4.3 船型與頻次決策

由單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本的數學式(式(4.2)、式(4.6))可知，對任意 t 型貨櫃船而言，單位貨櫃航運成本($AC1$)隨運送頻次(f)的增加而增加，而單位貨櫃存貨成本($AC2$)隨運送頻次(f)的增加而減少，兩者間存在此消彼漲的替代關係。令 γ_{11} 表示以 t 型貨櫃船經營該航線之基本的單位貨櫃航運成本， γ_{12} 表示增加一航次所連帶增加的單位貨櫃航運成本， γ_{21} 表示以 t 型貨櫃船服務該航線之基本的單位貨櫃存貨成本， γ_{22} 表示增加一航次所連帶增加的單位貨櫃存貨成本。 γ_{11} 、 γ_{12} 、 γ_{21} 與 γ_{22} 的數學式如下所示：

$$\gamma_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{24R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\gamma_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + \frac{S_t W_i}{24} + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{24V_t} + F_t \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$\gamma_{21} = \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right)}{24 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \dots\dots\dots(4.9)$$

$$\gamma_{22} = \frac{91H}{2} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})}{24 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \dots\dots\dots(4.10)$$

則單位貨櫃航運成本函數與單位貨櫃存貨成本函數改寫如下：

$$AC1 = \gamma_{11} + \gamma_{12}f \dots\dots\dots(4.11)$$

$$AC2 = \gamma_{21} + \gamma_{22}(f)^{-1} \dots\dots\dots(4.12)$$

並由上述改寫後的成本函數數學式可推導出兩成本間的關係式為

$$(AC1 - \gamma_{11})(AC2 - \gamma_{21}) = \gamma_{12}\gamma_{22} \dots\dots\dots(4.13)$$

此一關係式(式(4.13))明確顯示兩成本間的反向變動關係。隨著單位貨櫃存貨成本(AC2)的增加，單位貨櫃航運成本(AC1)減少，且減少比率隨單位貨櫃存貨成本的增加而遞減，當單位貨櫃存貨成本趨近於無限大(AC2 → ∞)時，單位貨櫃航運成本趨近於 γ_{11} (AC1 → γ_{11})；相同的，隨著單位貨櫃航運成本(AC1)的增加，單位貨櫃存貨成本(AC2)減少，且減少比率隨單位貨櫃航運成本的增加而遞減，當單位貨櫃航運成本趨近於無限大(AC1 → ∞)時，單位貨櫃存貨成本趨近於 γ_{21} (AC2 → γ_{21})。

式(4.13)亦表示任一船型貨櫃船之所有運送頻次方案集合。由數學式型式為雙曲線數學函數，顯示任一船型貨櫃船之單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本兩者間具有雙曲線函數關係，並依據雙曲線函數的特性，曲線可精確顯示在目標值空間上。以單位貨櫃存貨成本(AC2)為橫軸、單位貨櫃航運成本(AC1)為縱軸，構成二維的目標值空間，則此一單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本的關係曲線(以下簡稱成本關係曲線)由雙曲線的中心點(γ_{21}, γ_{11})、頂點($\gamma_{21} + \sqrt{\gamma_{12}\gamma_{22}}, \gamma_{11} + \sqrt{\gamma_{12}\gamma_{22}}$)、漸近線(AC1 - $\gamma_{11} = 0$ 、AC2 - $\gamma_{21} = 0$)、焦距 $\sqrt{2\gamma_{12}\gamma_{22}}$ 等特性，可以極精確地畫出曲線圖形。

進一步決定任一船型貨櫃船的運送頻次可行解。由於貨櫃船容量有限，在容量限制下的貨櫃船運送頻次(f)必大於或等於最大的航段貨

物流量($\sum_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}$)除以船舶容量(U_t), 即 $f \geq \frac{\text{Max}_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{U_t}$ 。令 $f_t^{\min}$ 表

示 t 型貨櫃船的最小運送頻次, 則 $f_t^{\min} = \frac{\text{Max}_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{U_t}$, 並令 $\overline{AC1_t}$ 與 $\overline{AC2_t}$

分別表示在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本, $\overline{AC1_t}$ 即為單位貨櫃航運成本之最小值, $\overline{AC2_t}$ 即為單位貨櫃存貨成本之最大值, 則任意 t 型貨櫃船的運送頻次可行解位於成本關係曲線上, 為最小運送頻次點 $(\overline{AC2_t}, \overline{AC1_t})$ 左上方的實線(如圖 4.2 所示)。當船型只有一種時, 該型貨櫃船的可行解即為二目標數學規劃模式之柏拉圖最佳解。

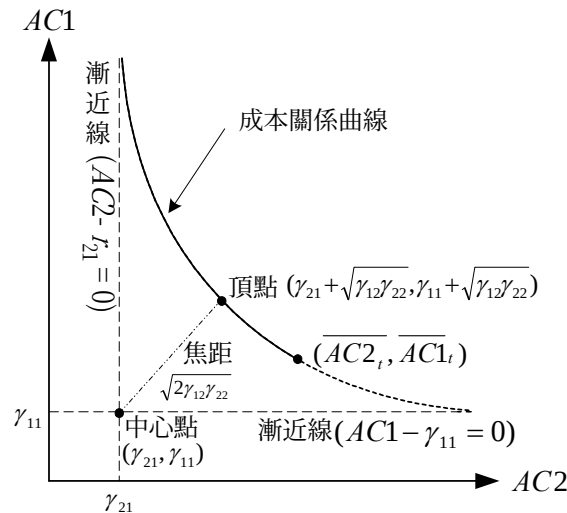


圖 4.2 任一型貨櫃船的柏拉圖最佳解

圖 4.2 中的實線代表相對於不同運送頻次航運服務的航運成本與貨物存成本組合。其中以最小運送頻次點 $(\overline{AC2_t}, \overline{AC1_t})$ 的航運成本最低、貨物存貨成本最高, 若僅以航運成本作為航運規劃之單一目標, 選擇以該點提供航運服務的航運成本最小。不過, 在實際的航運市場中, 一航線的適當運送頻次為每週一班或更密集的航班, 若運送頻次低於兩週一班則無法被貨主接受而不可行, 此外, 航商尚需考慮市場競爭者, 提供足以相較之航運服務, 且船期安排通常以週為單位, 安排兩週一班、每週一班、兩週三班、每週二班或更密集的航運服務。因此, 航商在考慮貨主與市場需求情況下, 可能不採用航運成本最低的最小

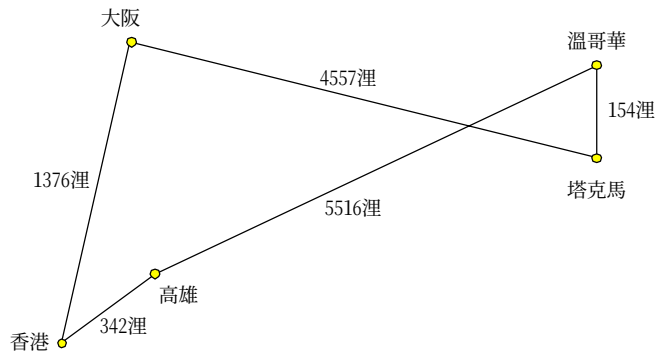
運送頻次點 $(\overline{AC2_i}, \overline{AC1_i})$ 提供服務，而選擇其他貨物存貨成本較低、航運成本較高的運送頻次可行解。

當船型有兩種或兩種以上時，由於不同船型貨櫃船之港灣費用 $(\alpha_{it}, \beta_{it})$ 、每日船舶時間成本 (S_i) 、燃油成本 (F_i, B_{it}) 與航速 (V_i) 等船舶相關參數因船型而異，使得不同船型貨櫃船的成本關係曲線、最小運送頻次點 $(\overline{AC2_i}, \overline{AC1_i})$ 不相同，各型貨櫃船的可行解落在目標值空間上的不同位置，此時，柏拉圖最佳解為各型貨櫃船可行解中最接近原點 $(0,0)$ 之離散點所組成。

4.3.1 數值分析

在以一航商的越太平洋航線(Transpacific Northwest Service，簡稱 TPN 航線)為例進行船型與頻次決策分析。

TPN 航線由高雄港出發，經香港、大阪(Osaka)、塔克馬(Tacoma)至溫哥華而後返回高雄港，總共靠泊五個港口，航線總航程 11,945 哩，各航段航程如圖 4.3 所示。假設航商可用的貨櫃船船型有五種，分別以 $T_i(i=1\sim5)$ 表示由小至大的船型，各型貨櫃船的船舶容量 (U_i) 、總噸位、吃水深度與服務航速 (V_i) 、船舶時間成本 (S_i) 、船舶燃油成本 (F_i, B_{it}) 如表 4.1 所示。各型貨櫃船在港口的港灣費用固定部份 (α_{it}) 、變動部份 (β_{it}) 與單位貨櫃處理成本 (G_i) 以各船型在高雄港之費用計算，各種使用費依據「高雄港港埠業務費費率表」(高雄港務局，2002)計算。各港口間的貨物流量基於越太平洋航線以服務遠東與美西間的遠洋貨櫃往來為目的，在進行船型與頻次決策時不必考慮近洋貨物流量，因此假設遠東區域內、美西區域內港口間的貨物流量為零，以五個港口的港埠貨櫃作業量(引自 Containersation International Yearbook 2002(2003))表示各港口貨櫃裝卸量之相對比例，據以計算各港口間的貨物流量比例，並以該航線 2001 年第二季在高雄港的貨櫃裝卸量計算出各港口間的貨物流量。另外模式中各港口的平均毛裝卸效率 (R_i) 、平均等待時間 (W_i) 按高雄港 2001 年的船舶動態資料與棧埠作業資料估算，貨物存貨成本 (H) 則參考相關資料估算。



航程資料來源：Caney and Reynolds (1995).

圖 4.3 TPN 航線的各航段航程

表 4.1 各型貨櫃船之船型相關參數值

船 型	T1	T2	T3	T4	T5
船舶容量 U_i (TEU)	1,810	2,728	3,428	4,211	5,652
服務航速 V_i (哩/時)	21.0	20.5	20.7	25.0	25.0
每日船舶時間成本 S_i (美元)	21,940	22,865	23,571	24,360	25,813
單位距離燃油成本 F_i (美元/哩)	15.51	20.81	24.32	23.57	29.89
進港燃油成本 B_{it} (美元/次)	77.62	104.05	121.59	117.84	149.44

註：1. 此五種船型均為長榮海運公司所使用之船型，表中各船型的服務航速 (V_i) 引用自該公司網站。

2. 各船型的每日船舶時間成本 (S_i) 與船舶燃油成本 (F_i 、 B_{it}) 依據王鴻仁 (1998) 估算 1,687TEU、5,200TEU 貨櫃船的每日時間成本與每日燃油成本值，以線性法推估，並假設進港燃油成本各港相同為單位距離燃油成本的五倍。

將給定的各項參數值代入，求得各型貨櫃船的成本關係曲線數學式、最小運送頻次 ($f_i^{\min}$)，以及在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本 ($\overline{AC1_i}$) 與單位貨櫃存貨成本 ($\overline{AC2_i}$)，如表 4.2 所示。推論各型貨櫃船的可行解如圖 4.4 所示。圖中五條曲線分別表示五種船型的成本關係曲線，T4 船型(4,211TEU)貨櫃船的成本關係曲線最接近原點(0,0)，顯示

該船型在相同貨物存貨成本水準下的航運成本最低，其次是容量較大的 T5 船型(5,652 TEU)貨櫃船，再來分別是 T1、T2 與 T3 三種船型，任一成本關係曲線分為黑色實線與淺色虛線兩部份，其中黑色實線表示運送頻次大於最小運送頻次的可行解，而淺色虛線表示運送頻次小於最小運送頻次的不可行解。比較各型貨櫃船的可行解，可知柏拉圖最佳解由最接近原點(0,0)的 T4、T5 船型之成本關係曲線組成，如圖 5 所示，顯示航商只會在 T4 與 T5 兩船型間做決策，當單位貨櫃存貨成本小於 566 美元/TEU 時，航商會選擇使用 T4 船型貨櫃船，而當單位貨櫃存貨成本大於 566 美元/TEU 時，航商會選擇使用 T5 船型貨櫃船。

表 4.2 各型貨櫃船的成本關係曲線以及最小運送頻次暨相對之航運成本與貨物存貨成本

船型	成本關係曲線	最小運送頻次	航運成本	貨物存貨成本
T1	$(AC1-134)(AC2-364)=20180.0$	41.2 航次/季	347 美元/TEU	459 美元/TEU
T2	$(AC1-135)(AC2-373)=22914.4$	27.3 航次/季	296 美元/TEU	516 美元/TEU
T3	$(AC1-137)(AC2-369)=24446.0$	21.7 航次/季	273 美元/TEU	549 美元/TEU
T4	$(AC1-138)(AC2-307)=21989.6$	17.7 航次/季	238 美元/TEU	528 美元/TEU
T5	$(AC1-141)(AC2-307)=24915.7$	13.2 航次/季	225 美元/TEU	604 美元/TEU

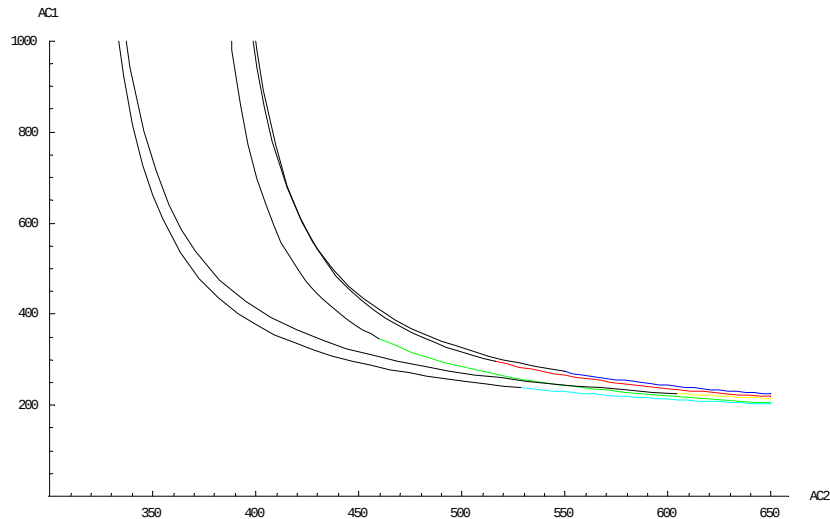


圖 4.4 各型船的可行解

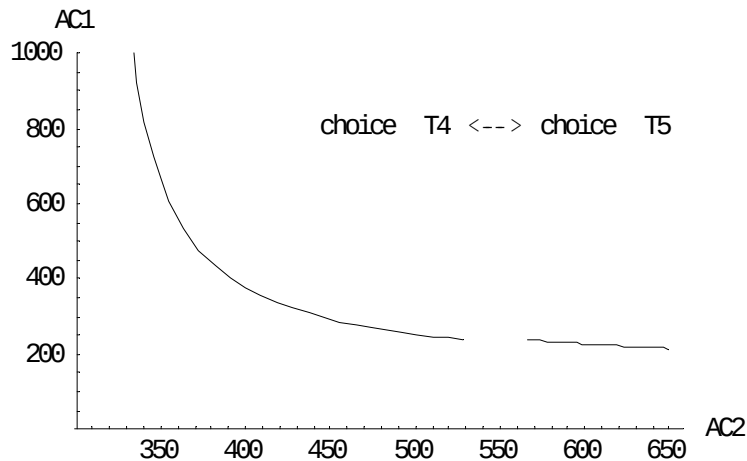


圖 4.5 TPN 航線之柏拉圖最佳解

接下來分析航商提供特定運送頻次時的最適船型。由容量最大的 T5 船型貨櫃船的最小運送頻次為 13.2，可知該航線的貨物流量極大，在此情況下，若航商以 T5 船型提供每週一班($f=13$ 航次/季)的航運服務，將有少數貨物無法完成運送。若航商決定提供每週二班($f=26$ 航次/季)的航運服務，此時 T3、T4 與 T5 三種船型均可以將貨物完全運送，三者之單位貨櫃航運成本分別為 229、284 與 304，顯示以 T4 船型運送之航運成本最小，T4 為最適船型。若航商決定提供更好的航運服務——每週三班($f=36$ 航次/季)，此時 T2、T3、T4 與 T5 四種船型均可以將貨物完全運送，各型貨櫃船的單位貨櫃航運成本分別為 364、381、357 與 390 美元/TEU，同樣是以 T4 船型的航運成本最小，T4 為最適船型。

貨物流量變動對船型決策之影響如圖 4.6。圖中顯示：在 TPN 航線之不同單位貨櫃存貨成本(AC2)與總航線貨物流量(Q)時的最適船型決策，當單位貨櫃存貨成本低、航線貨物流量低時，採用 T4 船較佳，而當單位貨櫃存貨成本高、航線貨物流量高時，採用 T5 船較佳，隨著貨物流量的增加，決策傾向於使用大型貨櫃船。

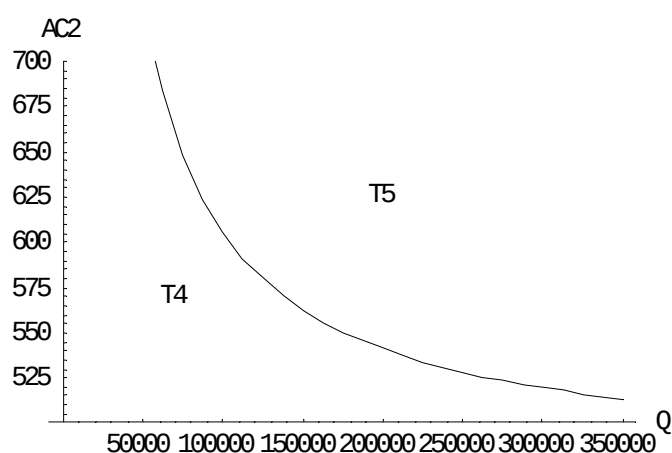


圖 4.6 貨物流量變動對船型決策之影響

第五章 單一集貨港之轉運成本分析

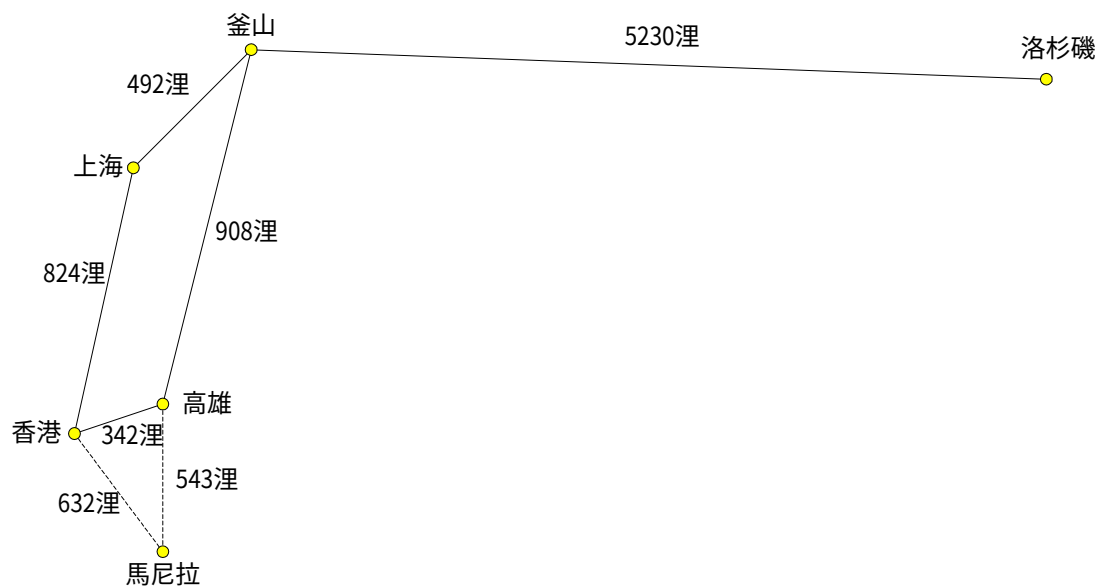
由前面第三章關於高雄港地理位置與貨櫃航線的分析，可知高雄港位於東北亞、東南亞及中國大陸間之要衝，並為歐亞美全球貿易及航路必經之處，地緣位置極佳。遠東地區位於越太平洋航線與遠東—歐洲航線兩大主要航線之間，逐漸形成東北亞以釜山、神戶為轉運中心、東南亞以新加坡為轉運中心，東亞以香港、高雄、上海為轉運中心的軸輻海運系統。以高雄港為轉運中心的港口為東亞地區的港口，如馬尼拉港、胡志明港、廈門港等港口。在此以馬尼拉港為研究對象，針對該港之貨櫃運送路線做分析，探討其貨櫃在轉運成本的考量下，是選擇經高雄港轉運，抑或經香港轉運。

5.1 資料說明

馬尼拉港是菲律賓的最大港口，2000 年的總貨櫃作業量 2,867,836 TEU，佔菲律賓全國總量 3,604,713 TEU 的 79.56%，為世界第 15 大貨櫃港。

考慮一航商經營遠東至北美西岸之越太平洋航線，該航商的航線安排採軸輻系統，並定位馬尼拉港為集貨港。因此，馬尼拉港的貨櫃需以集貨船運至軸心港，然後在軸心港將貨櫃裝上大型母船，經主航線運至另一區域的軸心港，再以集貨船分別運送至各個目的港。

假設該航商的主航線由高雄港出發，經香港、上海、釜山，而至洛杉磯，回程時經釜山後返回高雄港，而馬尼拉港運往美西的貨櫃則以接駁航線運送至高雄港或香港轉運。主航線與兩條可能的馬尼拉接駁航線的各航段航程如圖 5.1 所示。



航程資料來源：Caney and Reynold(1995).

圖 5.1 主航線與兩可能接駁航線的各航段航程

假設航商可用的貨櫃船船型有五種，分別以 $T_i (i=1\sim5)$ 表示由小至大的船型，各型貨櫃船的船舶容量(U_t)、服務航速(V_t)、每日船舶時間成本(S_t)、單位距離燃油成本(F_t)與進港燃油成本(B_{it})如表 5.1 所示。

表 5.1 各型貨櫃船之船型相關參數值

船型	T1	T2	T3	T4	T5
船舶容量 U_t (TEU)	1,810	2,728	3,428	4,211	5,652
服務航速 V_t (浬/時)	21.0	20.5	20.7	25.0	25.0
每日船舶時間成本 S_t (美元)	21,940	22,865	23,571	24,360	25,813
單位距離燃油成本 F_t (美元/浬)	15.51	20.81	24.32	23.57	29.89
進港燃油成本 B_{it} (美元/次)	77.62	104.05	121.59	117.84	149.44

- 註：1. 此五種船型均為長榮海運公司所使用之船型，表中各船型的服務航速 (V_t) 引用自該公司網站。
2. 各船型的每日船舶時間成本 (S_t) 與船舶燃油成本 (F_t 、 B_{it}) 依據王鴻仁 (1998) 估算 1,687TEU、5,200TEU 貨櫃船的每日時間成本與每日燃油成本值，以線性法推估，並假設進港燃油成本各港相同為單位距離燃油成本的五倍。

各型貨櫃船在港口的港灣費用固定部份 (α_{it})、變動部份 (β_{it}) 與單位貨櫃處理成本 (G_i) 以各船型在高雄港之費用計算，各種使用費依據「高雄港港埠業務費費率表」(高雄港務局，2002)計算。

主航線的流量以交通部運輸研究所(1999)報告中民國 90 年的世界貨櫃運輸結構為分析之基本資料，並假設該航商在各起迄港間的市場佔有率為 5%。另外模式中各港口的平均毛裝卸效率 (R_i)、平均等待時間 (W_i) 按高雄港 2001 年的船舶動態資料與棧埠作業資料估算，貨物存貨成本 (H) 則參考相關資料估算。

5.2 成本分析

依據第四章構建的成本函數，應用數學軟體 Mathematica 可以推論馬尼拉港之貨櫃經高雄港或香港轉運的成本。

當馬尼拉港的貨櫃經高雄港轉運時，其主航線的各型貨櫃船之成本關係曲線數學式、最小運送頻次 ($f_t^{\min}$)，以及在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本 ($\overline{AC1_t}$) 與單位貨櫃存貨成本 ($\overline{AC2_t}$) 如表 5.2 所示，推論各型貨櫃船的可行解如圖 5.2 所示。進一步考慮在實務上航商安排的運送頻次以週為單位，提供兩週一班以上的航運服務，則當貨櫃經高雄港轉運，其主航線實際可選擇的航運服務，及以在各服務頻次時的航運成本與存貨成本如表 5.3 所示。

表 5.2 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線特性

船型	成本關係曲線	最小運送頻次	航運成本	貨物存貨成本
T1	$(AC1-134)(AC2-375)=15985.4$	80.0 航次/季	398 美元/TEU	436 美元/TEU
T2	$(AC1-135)(AC2-384)=18145.1$	53.1 航次/季	334 美元/TEU	475 美元/TEU
T3	$(AC1-137)(AC2-380)=19358.3$	42.2 航次/季	305 美元/TEU	495 美元/TEU
T4	$(AC1-138)(AC2-316)=17423.1$	34.4 航次/季	261 美元/TEU	458 美元/TEU
T5	$(AC1-141)(AC2-316)=19736.3$	25.6 航次/季	246 美元/TEU	506 美元/TEU

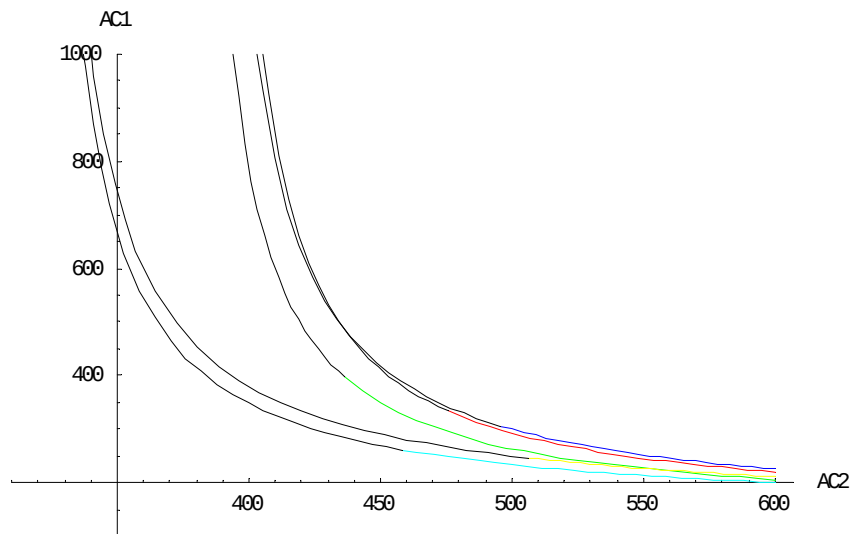


圖 5.2 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線的可行解

表 5.3 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之主航線的實際可行航運服務

單位：美元/TEU

運送頻次	船型	航運成本	存貨成本	運送頻次	船型	航運成本	存貨成本
兩週一班(f=6.5)	不可行	-	-	每週三班(f=39)	T4	278	441
每月三班(f=9)	不可行	-	-	每週四班(f=52)	T4	324	410
每週一班(f=13)	不可行	-	-	每週五班(f=65)	T4	371	391
兩週三班(f=19.5)	不可行	-	-	每週六班(f=78)	T4	418	379
每週二班(f=26)	T5	247	503	每日一班(f=91)	T4	464	370

其由馬尼拉至高雄港之接駁航線的各型貨櫃船之成本關係曲線數學式、最小運送頻次($f_t^{\min}$)，以及在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)與單位貨櫃存貨成本 ($\overline{AC2_t}$)如表 5.4 所示，推論各型貨櫃船的可行解如圖 5.3 所示。該航線實際可選擇的航運服務，及以在各服務頻次時的航運成本與存貨成本如表 5.5 所示。

綜合考量主航線的實際可行之航運服務與接駁航線之實際可行之航運服務，可求得在不同運送頻次組合情況下的單位貨櫃航運成本與存貨成本如表 5.6 所示。

表 5.4 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線特性

船型	成本關係曲線	最小運送頻次	航運成本	貨物存貨成本
T1	$(AC1-134)(AC2-36)=10040.8$	5.5 航次/季	170 美元/TEU	318 美元/TEU
T2	$(AC1-135)(AC2-36)=11284.2$	3.7 航次/季	162 美元/TEU	462 美元/TEU
T3	$(AC1-137)(AC2-36)=12045.7$	2.9 航次/季	159 美元/TEU	571 美元/TEU
T4	$(AC1-138)(AC2-30)=11021.7$	2.4 航次/季	155 美元/TEU	688 美元/TEU
T5	$(AC1-141)(AC2-30)=12390.2$	1.7 航次/季	155 美元/TEU	913 美元/TEU

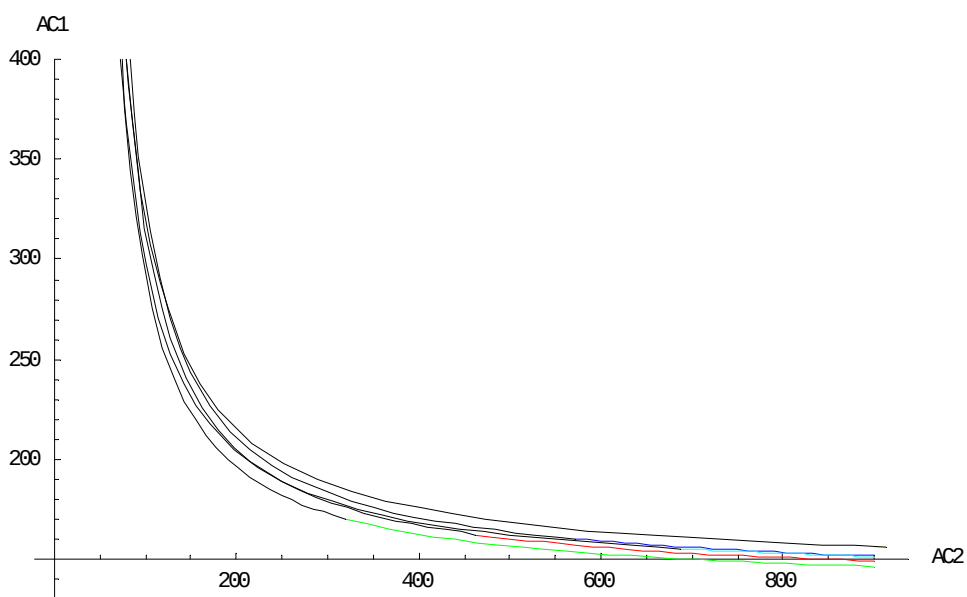


圖 5.3 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線的可行解

表 5.5 馬尼拉港貨櫃經高雄港轉運之接駁航線的實際可行航運服務

單位：美元/TEU

運送頻次	船型	航運成本	存貨成本	運送頻次	船型	航運成本	存貨成本
兩週一班(f=6.5)	T1	175	279	每週三班(f=39)	T1	382	76
每月三班(f=9)	T1	191	211	每週四班(f=52)	T1	465	66
每週一班(f=13)	T1	217	157	每週五班(f=65)	T1	547	60
兩週三班 (f=19.5)	T1	258	117	每週六班(f=78)	T4	682	51
每週二班(f=26)	T1	299	96	每日一班(f=91)	T1	773	48

表 5.6 貨櫃經高雄港轉運之實際可行航運服務之總航運成本與存貨成本

單位：美元/TEU

接駁航線 主航線		f=6.5	f=9	f=13	f=19	f=26	f=39	f=52	f=65	f=78	f=91
f=26	航運成本	256	256	258	260	262	266	270	274	281	285
	存貨成本	517	513	511	509	508	507	506	506	506	505
f=39	航運成本	287	287	289	291	293	297	301	305	312	316
	存貨成本	455	451	449	447	446	445	444	444	444	443
f=52	航運成本	333	333	335	337	339	343	347	351	358	362
	存貨成本	424	420	418	416	415	414	413	413	413	412
f=65	航運成本	380	380	382	384	386	390	394	398	405	409

	存貨成本	405	401	399	397	396	395	394	394	394	393
f=78	航運成本	427	427	429	431	433	437	441	445	452	456
	存貨成本	393	389	387	385	384	383	382	382	382	381
f=91	航運成本	473	473	475	477	479	483	487	491	498	502
	存貨成本	384	380	378	376	375	374	373	373	373	372

當馬尼拉港的貨櫃經香港轉運時，其主航線的各型貨櫃船之成本關係曲線數學式、最小運送頻次($f_t^{\min}$)，以及在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)與單位貨櫃存貨成本 ($\overline{AC2_t}$)如表 5.7 所示，推論各型貨櫃船的可行解如圖 5.4 所示。進一步考慮在實務上航商安排的運送頻次以週為單位，提供兩週一班以上的航運服務，則當貨櫃經高雄港轉運，其主航線實際可選擇的航運服務，及以在各服務頻次時的航運成本與存貨成本如表 5.8 所示。

表 5.7 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線特性

船型	成本關係曲線	最小運送頻次	航運成本	貨物存貨成本
T1	(AC1-134)(AC2-374)=15921.9	80.0 航次/季	398 美元/TEU	435 美元/TEU
T2	(AC1-135)(AC2-383)=18073.1	53.1 航次/季	334 美元/TEU	474 美元/TEU
T3	(AC1-137)(AC2-380)=19281.5	42.2 航次/季	305 美元/TEU	494 美元/TEU
T4	(AC1-138)(AC2-316)=17354.0	34.4 航次/季	261 美元/TEU	456 美元/TEU
T5	(AC1-141)(AC2-316)=19658.0	25.6 航次/季	246 美元/TEU	505 美元/TEU

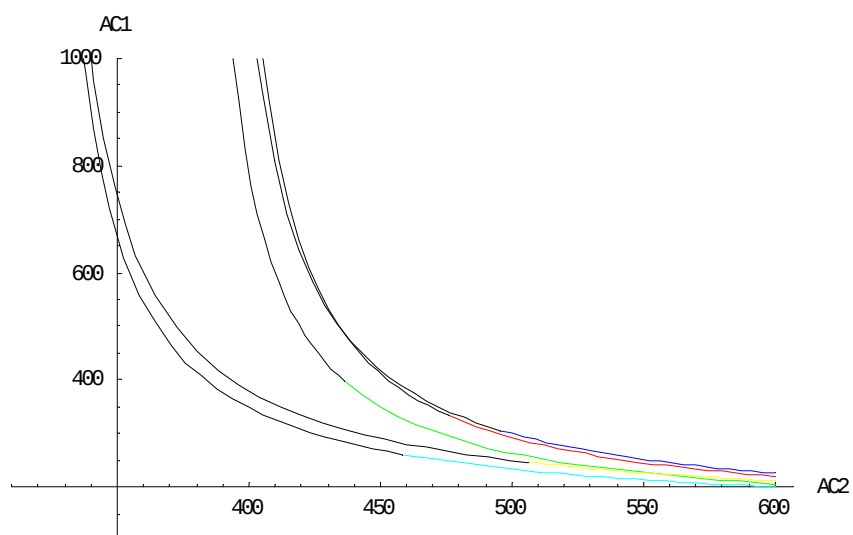


圖 5.4 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線的可行解

表 5.8 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之主航線的實際可行航運服務

單位：美元/TEU

運送頻次	船型	航運成本	存貨成本	運送頻次	船型	航運成本	存貨成本
兩週一班(f=6.5)	不可行	-	-	每週三班(f=39)	T4	278	440
每月三班(f=9)	不可行	-	-	每週四班(f=52)	T4	324	409
每週一班(f=13)	不可行	-	-	每週五班(f=65)	T4	371	390
兩週三班(f=19.5)	不可行	-	-	每週六班(f=78)	T4	418	378
每週二班(f=26)	T5	247	502	每日一班(f=91)	T4	464	369

其由馬尼拉至香港之接駁航線的各型貨櫃船之成本關係曲線數學式、最小運送頻次($f_t^{\min}$)，以及在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)與單位貨櫃存貨成本($\overline{AC2_t}$)如表 5.9 所示，推論各型貨櫃船的可解如圖 5.5 所示。該航線實際可選擇的航運服務，及以在各服務頻次時的航運成本與存貨成本如表 5.10 所示。

綜合考量主航線的實際可行之航運服務與接駁航線之實際可行之航運服務，可求得在不同運送頻次組合情況下的單位貨櫃航運成本與存貨成本如表 5.11 所示。

若航商以航運成本與貨物存貨成本之和為轉運港之決策依據，則在不同的主航線與接駁航線服務下的轉運港決策結果如表 5.12 所示。

表 5.9 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線特性

船型	成本關係曲線	最小運送頻次	航運成本	貨物存貨成本
T1	$(AC1-134)(AC2-41)=11420.0$	5.5 航次/季	175 美元/TEU	323 美元/TEU
T2	$(AC1-135)(AC2-42)=12855.8$	3.7 航次/季	165 美元/TEU	468 美元/TEU
T3	$(AC1-137)(AC2-41)=13722.1$	2.9 航次/季	163 美元/TEU	577 美元/TEU
T4	$(AC1-138)(AC2-35)=12520.7$	2.4 航次/季	157 美元/TEU	692 美元/TEU
T5	$(AC1-141)(AC2-35)=14093.3$	1.7 航次/季	157 美元/TEU	917 美元/TEU

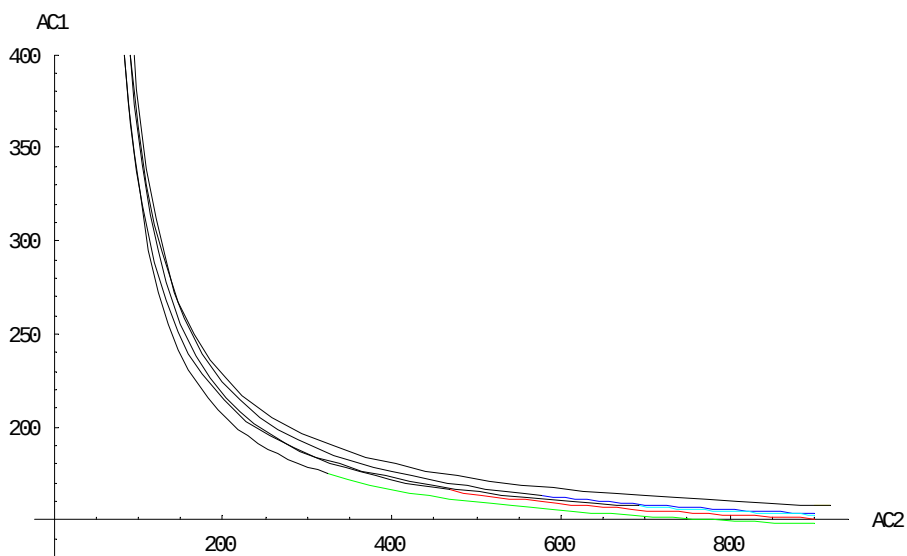


圖 5.5 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線的可行解

表 5.10 馬尼拉港貨櫃經香港轉運之接駁航線的實際可行航運服務

單位：美元/TEU

運送頻次	船型	航運成本	存貨成本	運送頻次	船型	航運成本	存貨成本
兩週一班(f=6.5)	T1	181	284	每週三班(f=39)	T1	416	81
每月三班(f=9)	T1	199	216	每週四班(f=52)	T1	510	71
每週一班(f=13)	T1	228	162	每週五班(f=65)	T1	604	65
兩週三班 (f=19.5)	T1	275	122	每週六班(f=78)	T4	756	55
每週二班(f=26)	T1	322	102	每日一班(f=91)	T1	859	52

表 5.11 貨櫃經香港轉運之實際可行航運服務之總航運成本與存貨成本

單位：美元/TEU

主航線 \ 接駁航線		f=6.5	f=9	f=13	f=19	f=26	f=39	f=52	f=65	f=78	f=91
f=26	航運成本	256	257	258	261	263	267	272	277	284	289
	存貨成本	516	513	510	508	507	506	505	505	505	505
f=39	航運成本	287	288	289	292	294	298	303	308	315	320
	存貨成本	454	451	448	446	445	444	443	443	443	443
f=52	航運成本	333	334	335	338	340	344	349	354	361	366
	存貨成本	423	420	417	415	414	413	412	412	412	412
f=65	航運成本	380	381	382	385	387	391	396	401	408	413

	存貨成本	404	401	398	396	395	394	393	393	393	393
f=78	航運成本	427	428	429	432	434	438	443	448	455	460
	存貨成本	392	389	386	384	383	382	381	381	381	381
f=91	航運成本	473	474	475	478	480	484	489	494	501	506
	存貨成本	383	380	377	375	374	373	372	372	372	372

表 5.12 在不同航運服務情況下的轉運港決策

接駁航線 主航線	f=6.5	f=9	f=13	f=19	f=26	f=39	f=52	f=65	f=78	f=91
f=26	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港
f=39	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港
f=52	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港
f=65	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港
f=78	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港
f=91	香港	香港	香港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港	高雄港

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究針對航商是否選擇高雄港做為其轉運港之課題做探討。首先回顧相關文獻、分析高雄港的貨櫃轉運現況，然後構建出以追求航運成本與貨物存貨成本最小化為目標的成本函數，運送以分析單一集貨港的轉運成本。

在文獻回顧部份，回顧了有關航線規劃與靠泊港決策之文獻。由航線規劃相關文獻之回顧，可知大部份文獻針對航線安排、船舶排班課題做探討，著重於網路模式的構建與求解方法的設計。由靠泊港選擇之相關文獻回顧，可知過去研究大多針對一般靠泊港之決策做探討，近來因我政府推動高雄港成為亞太海運中心，才陸續有不少學者專家針對海運轉運中心之選擇做討，一般靠泊港之決策按研究方法可分為問卷調查法與數學規劃法兩類，而海運轉運中心的決策按研究方法則可以分為港埠競爭力比較法與成本分析法。

在高雄港貨櫃轉運現況分析部份，說明目前貨櫃海運之發展趨勢主要為貨櫃船大型化、航商聯營化與航線軸心化，分析高雄港的地理位置之優勢，指出高雄港位居越太平洋航線、遠東—歐洲航線與亞洲區內航線等三大主要貿易航線的樞紐位置，並依據高雄港與世界各經濟區域間的貿易貨櫃數量統計得知高雄港與北美地區間的貨櫃往來數量最大，其次是大陸香港地區，第三是歐洲地區，第四、第五分別是東南亞與東北亞地區，然後，並就高雄港的貨櫃碼頭營運現況作一說明。

在成本函數構建部份，本研究提出以追求航運成本與貨物存貨成本最小化為轉運港選擇的兩大目標，針對多港靠泊航線分析在貨櫃運送過程中的各項成本，構建出航運成本函數與貨物存貨成本函數。其中，航運成本包含航商擁有與使用船舶每日須固定花費或分攤的船舶

時間成本，船舶航行所需耗費的燃油成本，以及船舶在各港口灣靠與裝卸貨櫃所支付的港埠成本；貨物存貨成本則包含貨櫃在港口的等待時間成本，以及在船上的航運時間成本。然後推導航運成本與貨物存貨成本兩目標間的數學關係式，確認兩者具有權衡取捨的反向變動關係，並以數值分析說明運用此成本函數分析貨櫃運送的船型決策問題。

最後以馬尼拉港為轉運成本分析之研究對象，針對該港的貨櫃運送經高雄港或香港轉運作探討，推導出在轉運成本考量下，於不同的主航線與接駁航線運送頻次情況下之最適轉運港。

6.2 建議

1. 本研究主要針對單一集貨港的轉運成本做探討，建議進一步擴大研究範圍，探討多個集貨港之問題
2. 建議進一步針對政策面問題做情境分析，探討當高雄港採取費率降低或效率提昇策略時，對於貨櫃轉運之影響。

參考文獻

- [1] 王克尹，超大型貨櫃船之發展及期影響探討，高雄港，第十七卷，第五期，2003。
- [2] 王鴻仁，以高雄港為中心之貨櫃轉運航線分析，國立海洋大學航運管理研究所碩士論文，1998 年。
- [3] 交通部統計處，「中華民國九十一年交通統計要覽」，2003 年。
- [4] 交通部運輸研究所，「西太平洋主要港埠之比較評估」，台北：交通部運輸研究所，1993 年。
- [5] 交通部運輸研究所，「台灣地區海運運量預測專題報告」，1999 年。
- [6] 倪安順，「亞洲地區國際商港港埠競爭力與效率調查分析」，海運月刊，頁 2-11，1996 年。
- [7] 高雄港務局，「我國國際商港港埠未來競爭力分析及核心能力建立整體規劃之研究—高雄港部分」，1998 年。
- [8] 高雄港務局，「高雄港港埠業務費費率表」，2002 年。
- [9] 許巧鶯、謝幼屏，「貨櫃海運航線之船型與頻次決策研究」，中華民國運輸學會第十八屆論文研討會，805~814 頁，2003 年。
- [10] 許志成，「定期貨櫃船舶排程計畫研究」，中央大學土木工程研究所碩士論文，1997 年。
- [11] 黃玉梅，「亞洲主要競爭港埠競爭力之比較」，第二屆交通統計應用分析研討會，1997 年。
- [12] 陳春益、張永昌，「航商選擇定期貨航線泊靠港之探討」，國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學，第 7 卷，第 3 期，頁 438-444，1997 年。
- [13] 陳春益、邱明琦，「貨櫃航線網路設計模式之研究」，第九屆校際

運輸學術聯誼研討會，頁 77-100，2001 年。

- [14] 郭石盾，「淺談航運發展趨勢與港埠經營管理策略」，台灣省政府交通處港灣技術研究所，八十五年度港灣技術短期練班講義集，1996 年。
- [15] 郭石盾，海運船舶發展與港口設施因應，高雄港，第十七卷，第五期，2003。
- [16] 郭塗城、朱經武，「定期船停靠港口決策模式探討」，中華民國第五屆運輸網路研討會，頁 317-326，2000 年。
- [17] 港灣技術研究所，「台灣地區國際港埠與亞太地區重要港埠裝卸設施及裝卸效率之比較研究」，1996 年。
- [18] 彭信坤，「航適對船舶泊港及其裝卸選擇分析」，運輸計劃季刊，第 12 卷，第 4 期，頁 511-522，1983 年。
- [19] 董孝行，「貨櫃船規模經濟的分析」，運輸計劃季刊，第 15 卷，第 2 期，頁 279-299，1986 年。
- [20] 董孝行，「貨櫃船最適船型之研究」，運輸計劃季刊，第 15 卷，第 3 期，頁 435-459，1986 年。
- [21] 楊士毅，定期貨櫃航商聯營對選擇泊靠港之影響研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，1999 年。
- [22] 盧華安，「定期貨櫃航線設計之研究」，中華民國第五屆運輸網路研討會，頁 327-336，1990 年。
- [23] 戴輝煌，高雄港與香港轉運貨櫃競爭地位之研究，國立海洋大學航運管理研究所碩士論文，1992 年。
- [24] Caney, R.W. and Reynolds, J.E., Reed's New Marine Distance Tables, Thomas Reed Publications, 1995.

- [25] Cho, S. C. and A. N. Perakis, "Optimal Liner Fleet Routeing Strategies," *Maritime Policy and Management*, Vol.23, No.3, pp.249-259, 1996.
- [26] Containersation International Yearbook 2002, 2003.
- [27] Murphy P. R., Dalenberg, D. R. and Daley, J. M., Assessing International Port Operations, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, Vol.19, No. 9, pp.3-10, 1989.
- [28] Murphy P. R., Daley, J. M. and Dalenberg, D. R., Port Selection Criteria: An Application of a Transportation Research Framework, *Logistics and Transportation Review*, Vol. 28, No. 3, pp.237-255, 1992.
- [29] Powell, B. J. and A. N. Perakis, "Fleet Deployment Optimization for Liner Shipping: an integer programming Model," *Maritime Policy and Management*, Vol.24, No.2, pp.183-192, 1997.
- [30] Rana, K. and R. G. Vickson, "A model and solution algorithm for optimal routing of a time-chartered containership", *Transportation Science*, Vol.22, pp.83-95, 1988.
- [31] Riendeau, B., A Port Choice Model of the Carrier, the Shipper and Consignee: an Application to Container Transport between the North and South Atlantic, and Selected Quebec, East Coast and Great Lakes Ports in Canada and the United States, PH. D. dissertation, University of Pennsylvania, 1977.
- [32] Ronen, D., "Cargo ships routing and scheduling: survey of models and problems". *European Journal of Operational Research*, 12, pp.119-126, 1983,.
- [33] Ronen, D., "Ship scheduling: The last decade", *European Journal of Operational Research*, 71, pp. 325-333, 1993.
- [34] Wu, Y., The Economics of Containership Route Deployment, *Geo Journal*, Vol. 16, No. 3, pp.301-314, 1988.

