

98-45-7402

MOTC-IOT-97-H1DA004-1

# 上海港發展對高雄港貨櫃轉運 影響之決策模式研究



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

98-45-7402

MOTC-IOT-97-H1DA004-1

# 上海港發展對高雄港貨櫃轉運 影響之決策模式研究

著 者：謝幼屏

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

上海港發展對高雄港貨櫃轉運影響之決策模式研究 / 謝幼屏著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民98.04

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-8256-9(平裝)

1. 港埠管理 2. 航運管理 3. 貨櫃 4. 轉運中心

557.52

98006890

上海港發展對高雄港貨櫃轉運影響之決策模式研究

著者：謝幼屏

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 98 年 4 月

印刷者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009800940

ISBN：978-986-01-8256-9 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<b>出版品名稱：上海港發展對高雄港貨櫃轉運影響之決策模式研究</b>			
<b>國際標準書號（或叢刊號）</b> ISBN 978-986-01-8256-9 (平裝)	<b>政府出版品統一編號</b> 1009800940	<b>運輸研究所出版品編號</b> 98-45-7402	<b>計畫編號</b> 97-HIDA004-1
<b>主辦單位：</b> 台灣技術研究中心 <b>主管：</b> 邱永芳 <b>總計劃主持人：</b> 朱金元 <b>計劃主持人：</b> 謝幼屏 <b>參與人員：</b> 陳毓清 <b>聯絡電話：</b> (04)26587173 <b>傳真號碼：</b> (04)26564418			<b>研究期間</b> 自 97 年 01 月 至 97 年 12 月
<b>關鍵詞：</b> 路線決策、貨櫃運輸、影響分析			
<b>摘要：</b>  <p>隨著中國經貿的快速發展，中國沿海港口貨櫃量大增，不僅上海港與深圳港分別躍居世界第二、四大貨櫃港，亞太地區的軸輻網路亦隨之改變。為探討亞太地區航運網路的轉變，以及中國上海港與其他港埠發展可能對臺灣高雄港貨櫃運輸之影響，故進行本研究。首先，分析目前西太平洋貨櫃航線的配置情形，以及上海港與高雄港的發展現況。然後，構建路線決策模式，運用模式探討上海港發展對高雄港之可能影響。由模式推論得到，隨中國貨量的快速成長，亞太軸輻網路中的路線安排隨貨量增加將更傾向採直接運送。為維持高雄港的既有競爭力，保持遠洋航線直靠港之地位，我們在擴大貨源、降低費率、提高服務水準、開放兩岸合作、改善碼頭設施等方面，應更積極去推動相關策略。</p>			
<b>成果效益與應用情形：</b>			
<p>本研究之研究成果業已整理成學術論文，發表在 97 年運輸年會的本所成果發表會上，提供學術研究單位參考引用。在施政上，本研究成果可提供大部與港務局在研擬貨櫃運輸政策、港埠發展政策之參考。在實務上，本研究成果可提供貨櫃航商及相關業者在營運上之參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 4 月	80	100	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。
<b>機密等級：</b> 密    機密    極機密    絕對機密 （解密條件： 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			
<b>備註：</b> 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**

<b>TITLE:</b> Routing Decision-Making for the Transshipping Containers on Kaohsiung Harbor Influenced by the Development of Shanghai Harbor			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-8256-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009800940	IOT SERIAL NUMBER 98-45-7402	PROJECT NUMBER 97-H1DA004-1
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Chu Chin-yuan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsieh Yu-ping PROJECT STAFF: PHONE: 04-26587173 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2008 TO December 2008
<b>KEY WORDS:</b> routing decision-making, container shipping, influence analysis			
<b>ABSTRACT:</b>  <p>As the Chinese economy continues to boom, the container throughputs in Chinese ports grow rapidly. Not only have Shanghai and Shenzhen Harbors become the second and forth container ports in the world, but the container hub-and-spoke networks of the Asia Pacific Region are also changing. Therefore, this study is conducted to discuss the changing in the container networks and the effects of Shanghai Harbor's development on Kaohsiung Harbor. First, the current allocations of the container routes are analyzed for the Asia Pacific region. The developing situation of either Shanghai or Kaohsiung is explained. Then, a routing-decision model is constructed. The model is used to discuss the possible influence of Shanghai Harbor's development on Kaohsiung Harbor. However, it is inferred by the model that the container flow tends to be shipped directly as the Chinese container volume grows. To maintain the competitiveness of Kaohsiung Harbor, strategies on increasing its container volume, decreasing its port charges, improving the level of service, and improving the berth facilities, etc., are essential to fulfill.</p>			
<b>BENEFITS AND APPLICATIONS:</b>  <p>The results have been condensed into an academic paper. It has been presented at the 2008 international conference and annual meeting of the Chinese Institute of Transportation. Moreover, the Ministry of Transportation and Communications or the port authorities can refer to the results for making policies. Container carriers or other companies for their business operating can also consult it.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2009	NUMBER OF PAGES 80	PRICE 100	CLASSIFICATION RESTRICTED    CONFIDENTIAL SECRET        TOP SECRET UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 上海港發展對高雄港貨櫃轉運影響之決策模式研究

## 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
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 研究方法與內容.....	1-2
第二章 西太平洋貨櫃航線配置分析.....	2-1
2.1 航線規劃趨勢.....	2-1
2.2 船舶配置趨勢.....	2-3
第三章 上海與高雄港發展現況.....	3-1
3.1 上海港現況.....	3-1
3.1.1 港埠概述.....	3-1
3.1.2 貨櫃碼頭設施.....	3-2
3.1.3 貨櫃裝卸量.....	3-3
3.1.4 未來發展規劃與策略.....	3-4
3.2 高雄港現況.....	3-6

3.2.1 港埠概述 .....	3-6
3.2.2 貨櫃碼頭設施 .....	3-8
3.2.3 貨櫃裝卸量 .....	3-12
3.2.4 貨櫃碼頭未來新建計畫 .....	3-13
<b>第四章 貨櫃航運路線決策模式 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 成本函數構建 .....	4-2
4.1.1 航運成本函數 .....	4-3
4.1.2 存貨成本函數 .....	4-6
4.1.3 成本函數之特性 .....	4-8
4.2 路線決策 .....	4-10
4.2.1 貨物轉運時的成本關係式 .....	4-15
4.2.2 貨物直接運送時的成本關係式 .....	4-16
<b>第五章 貨櫃轉運路線決策分析 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 最適船型與頻次求解 .....	5-3
5.2 路線決策分析 .....	5-5
5.3 強化高雄港貨櫃轉運競爭力之策略研擬 .....	5-17
<b>第六章 結論與建議 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-2
6.3 成果效益與應用情形 .....	6-3
<b>參考文獻 .....</b>	<b>參-1</b>

## 表目錄

表 2-1 全球貨櫃船舶主要航線載運量 .....	2-5
表 3-1 上海港貨櫃碼頭明細 .....	3-3
表 3-2 上海港貨櫃裝卸量統計表 .....	3-4
表 3-3 高雄港現有貨櫃碼頭及裝卸設施 .....	3-9
表 3-4 高雄港各貨櫃儲運中心後線的貨櫃場面積與容量 .....	3-10
表 3-5 高雄港歷年進出港貨櫃量 .....	3-12
表 5-1 各型船之船舶相關參數值 .....	5-2
表 5-2 各型船之港埠相關參數值 .....	5-2
表 5-3 各港口間貨物載運量 .....	5-3
表 5-4 主航線在所有貨物均轉運時的實際可行之航運服務 .....	5-5
表 5-5(a) 泰國地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線 船型與頻次 .....	5-8
表 5-5(b) 菲律賓地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航 線船型與頻次 .....	5-9
表 5-5(c) 越南地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線 船型與頻次 .....	5-10



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	1-3
圖 2.1 大型貨櫃船舶在東亞地區的配置概略圖 .....	2-2
圖 2.2 近 40 年東、西二大主航線之最大船型投入比較圖 .....	2-3
圖 3.1 高雄港平面圖 .....	3-7
圖 4.1 定期貨櫃航線之運送路線 .....	4-2
圖 4.2 任一 $t$ 型船的可行解 .....	4-12
圖 4.3 基本的軸輻海運網路型態示意圖 .....	4-14
圖 4.4 當採直接運送時在特定三航線總航運成本( $TTC_1$ )值時三航線總 存貨成本( $TTC_2$ )值隨集貨航線航運成本( $TC_1^s$ )值變動示意圖	4-18
圖 4.5 採直接運送在集貨航線使用 $t_i$ 型船、直運航線使用 $t_j$ 型船時的 柏拉圖最佳解 .....	4-19
圖 5.1 多集貨港範例之航運網路圖 .....	5-1
圖 5.2 主航線在所有貨物均轉運時的柏拉圖最佳解與實務可行解 ...	5-4
圖 5.3 三地區貨物轉運與直接運送之柏拉圖最佳解 .....	5-7
圖 5.4 集貨區與目的港間載運量對路線決策之影響 .....	5-12
圖 5.5 集貨港區位對路線決策之影響 .....	5-14
圖 5.6 高雄港費率與效率變動對路線決策之影響 .....	5-16

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

國際間的貿易往來大都依賴海洋運輸，而貨櫃運輸更是海洋運輸的主流。貨櫃運輸自 1980 年代以來快速成長，全球港口近十年的貨櫃裝卸量平均年成長率 10.5%，至 2003 年已達 3 億 1 仟 7 佰萬 TEU。近來貨櫃運輸快速成長原因，主要因中國加入 WTO 後，歐美國家持續外包(Outsourcing)給中國大陸進行產品之生產，因而促進貨櫃海運之成長，在中國經貿發展的驅動力下，預估全球港口貨櫃裝卸量將持續成長，至 2009 年將達 5 億 2 仟 8 佰萬 TEU，年平均成長率 8.9%(Drewry Shipping Consultants, 2004)<sup>[1]</sup>。全球各區域的成長率不同，以亞太地區的成長率最高，而在亞太地區又以中國的表現最亮眼。

由於全球整體港口貨櫃裝卸量持續上揚，但各區域進展不同，使得貨櫃航線佈設變動極大。基本上航線佈設隨貨物運送的起迄點而改變，貨物在哪裡，航線就安排在那裡。特別是目前遠洋貨櫃航線採軸輻網路，航商在航運網路中選擇數個港埠為軸心港(hub port)，以大型貨櫃船 母船(mother ship)航行於軸心港間的主航線，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)間的集貨航線，則航線變動連帶改變軸心港的選擇，使得航線佈設的變化更多、變動更大。

目前亞太地區軸輻系統主要以香港、上海、深圳、釜山、高雄與新加坡等港口為軸心港。隨著中國經貿的快速發展，不僅中國的上海港與深圳港分別躍居世界第二、四大貨櫃港，中國其他港埠的成長亦極為驚人，例如青島、寧波、天津、廣州與廈門等港口的貨櫃裝卸量高達 20% 以上。不僅中國沿海港口貨櫃量大增，亞太地區的軸輻網路亦隨中國經貿發展而改變。未來亞太地區航運網路的轉變，以及中國上海港與其他港埠發展可能對臺灣高雄港貨櫃運輸之影響，是所有航

商、港埠經營者或貨櫃場站業者等人所一致關心的課題，在此嘗試探討此一課題。

## 1.2 研究目的

1. 分析西太平洋貨櫃航線的配置情形，了解目前上海港與高雄港的發展現況，以做為研究之基礎。
2. 提出路線決策模式，據以推論貨櫃轉運路線之可能決策。
3. 研擬強化高雄港競爭力之策略。

## 1.3 研究方法與內容

Hsu 與 Hsieh(2007)<sup>[2]</sup>提出一個路線決策模式，在決策時可將貨物流量、航運距離、港埠費率、港埠效率等因素均納入考量，並可以處理採用軸輻系統增加地區港埠貨物之運送距離與時間，且同時改變航商航運成本與貨物存貨成本之特性。本研究嘗試運用此模式探討上海港發展對高雄港之可能影響。接下來，第二章先分析目前西太平洋貨櫃航線的配置情形，第三章說明上海港與高雄港的發展現況，第四章構建路線決策模式，第五章由模式推論貨櫃轉運路線之可能決策，並研擬強化高雄港競爭力之策略，最後，第六章做一綜合結論。本研究的研究流程圖如圖 1.1 所示。

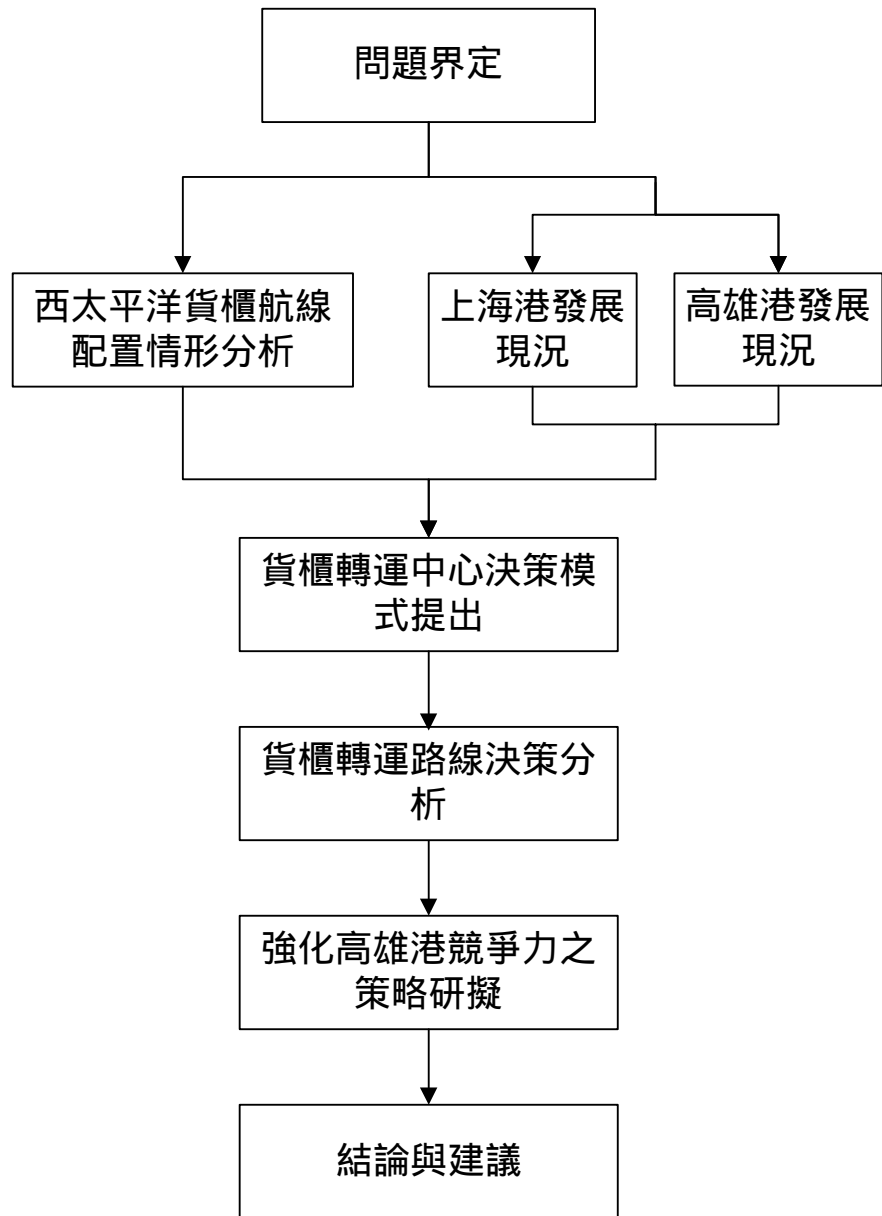


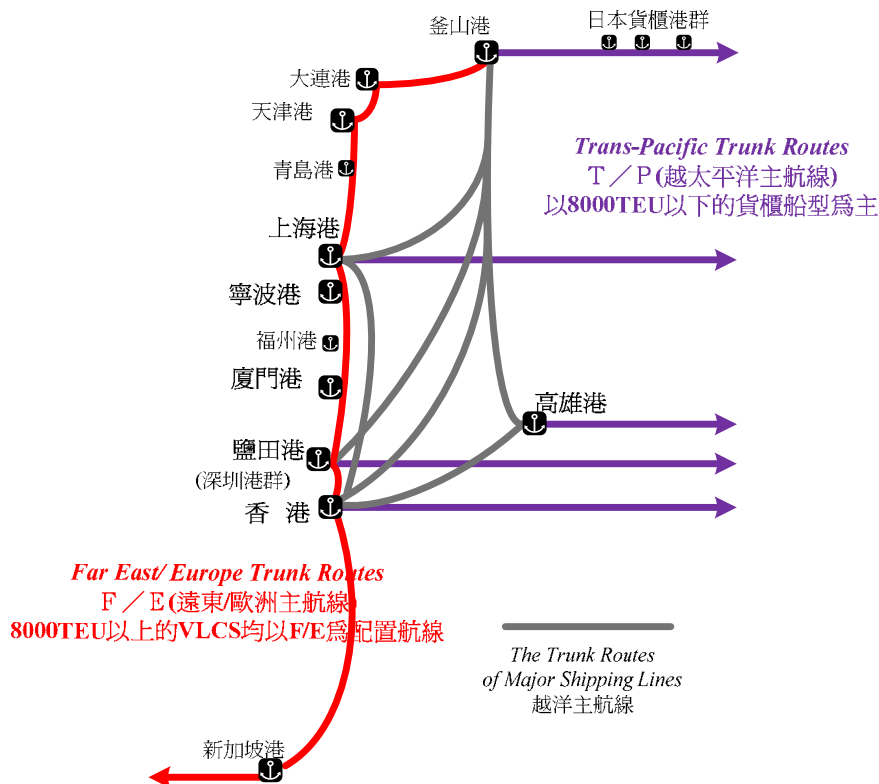
圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 西太平洋貨櫃航線配置分析

關於西太平洋貨櫃航線的配置，戴輝煌、徐文華(2008)<sup>[3]</sup>指出目前貨櫃航商在西太平洋的航線配置有「越太平洋航線多線(平行)化、歐洲航線單線化」的現象。

### 2.1 航線規劃趨勢

其指出現今全球貨櫃航商營運的貨櫃船隊，主要集中在歐洲/遠東(Far East/ Europe; F/E)、越太平洋(Trans-Pacific; T/P)及越大西洋(Trans-Atlantic; T/A)此三大貿易主航線(Trunk-routes)，其中 T/P 與 F/E 一直是全球海運運輸最繁忙的地區，其交界於東亞地區之貨源區域，亦是諸多航商配置船隊的營運焦點。因此，貨櫃航商在航線配置上，為求吸引東亞地區特別是中國大陸更多的貨源；所採取的策略聯盟行為，其亦衍生出需要更多及更大的貨櫃船舶加入調度與營運，特別是遠東/歐洲航線在面臨中國大陸海線長且港口群眾多的情勢下，也致使航商不只增加港口泊靠的次數，也擴大接駁船的作業規模，以致使在遠東迄歐洲的航線產生出「母船集貨化」的現象。以中國大陸為例，因為外國航商受限於內河航行權之限制(Cabotage)，不能在中國沿海港口之間經營裝載運送之集貨行為，兼之中國很多貨櫃港口在政策上，只鼓勵遠洋船舶泊靠之出口運輸作業，而非僅有貨櫃轉運作業，致使很多航商將 8,000 TEU 以上的大型貨櫃船配置在大連、上海、寧波、香港與深圳港群間，進行母船靠泊兼做集貨之功能後，再行航迄歐洲地區(圖 2.1 所示)。



資料來源：戴輝煌、徐文華(2008)<sup>[3]</sup>，「船舶大型化對我國港口競爭態勢之影響」，2008 臺灣港埠因應航運發展趨勢研討會，民國 97 年 9 月 16 日。

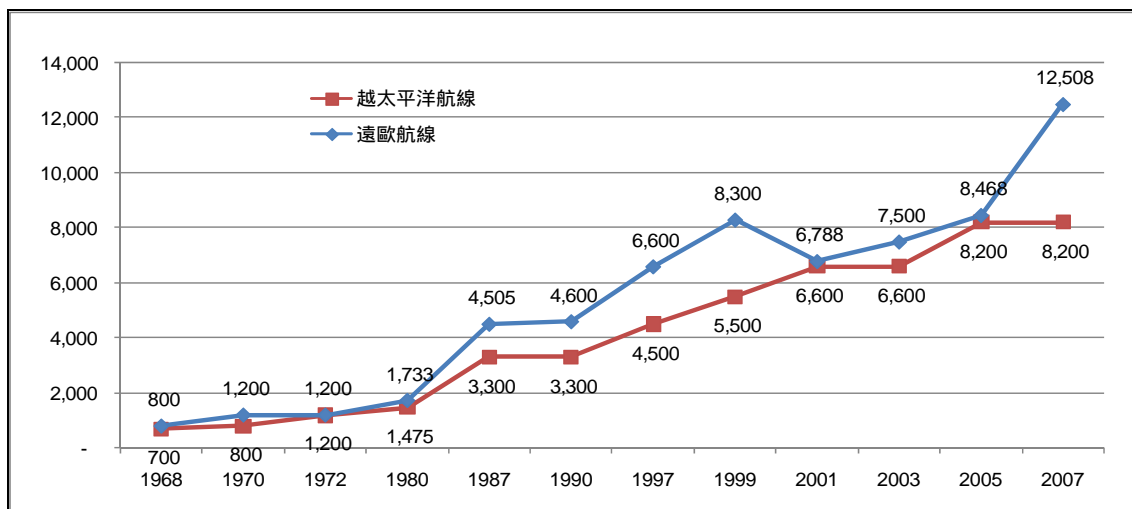
圖 2.1 大型貨櫃船舶在東亞地區的配置概略圖

若另以東向之越太平洋航線為例，則由於航商面對中國大陸海線長且貨源港口眾多，兼之由中國大陸越太平洋迄北美西岸之航程，遠較赴歐洲地區為短，大型船舶在航行之規模經濟特性不易展現，加上美西沿岸各大貨櫃港口近年來的「塞港」問題甚殷，航商若採用大型貨櫃船舶，將會使此一滯港問題在此一航線益愈嚴重。惟考量越洋船舶的規模經濟特性，復又無法使用較小型的船舶。因之，8,000 TEU 以下；特別是 6,000 TEU 左右的貨櫃船舶，便成為近年來越太平洋最具經濟效益的船型。

綜論之，在目前的航線規劃趨勢下，由於亞太地區主要櫃源來自中國大陸，兼之海岸線長與港口眾多，近年來已經造成了「歐洲航線單線化、越太平洋航線多線與平行化」；以及貨櫃船主航線在亞太地區兼集貨功能的「主幹線集貨化」等特殊現象。

## 2.2 船舶配置趨勢

戴輝煌、徐文華(2008)<sup>[3]</sup>並指出：在船舶配置趨勢方面，由國際統計資料(Container Insight, 2008)<sup>[4]</sup>發現：2008 年全球貨櫃船隊之 6,000 TEU 以上超巴拿馬型船舶，大多數以加入 T/P 之東西向航線為主，而新造的超大型船舶則主要為遠東迄歐洲及地中海航線所吸收，2008 年大部分的 4,000 TEU 以下新造船舶，則主要服務於東亞地區(Intra-Asia)之南北向航線。然而，是否自貨櫃運輸發展以來，遠東航線之船型均較之北美越太平洋航線為大，則可由圖 2.2 所示得到証明，他們並綜合整理自歷年以來之國際貨櫃運輸年鑑(Containerization International Yearbook, 1981, 1991, 1997~2007)<sup>[5]</sup>所示之東、西二大貨櫃主要航線的最大船型比較表即可發現(縱軸為 TEU 數、橫軸為年份)：由有記錄起之歷史資料檢視之，遠歐航線的船型的確較北美越太平洋航線為大。



資料來源：戴輝煌、徐文華(2008)<sup>[3]</sup>，「船舶大型化對我國港口競爭態勢之影響」，2008 臺灣港埠因應航運發展趨勢研討會，民國 97 年 9 月 16 日。

圖 2.2 近 40 年東、西二大主航線之最大船型投入比較圖

以「船型」論之，遠東迄歐洲航線的船型的確較大，惟若另由「運能投入」探究之，則表 2-1 卻顯示：2007 年共有 523 艘貨櫃船舶服務越太平洋航線，其中 CKYH 聯盟(中遠、K-Lines、陽明、韓進)即占 103

艘並約有 50 萬 TEU 之運能，馬士基公司(MAERSK)則約有 48 萬 TEU 的運能。在遠東/歐洲航線部分則有 424 艘，亦是以前二大集團為主要運能提供者，越大西洋航線則僅有 275 艘，則越太平洋航線為全球航商投入運能最多的區域。

綜論之，全球船舶之船型與運能配置中，係以越太平洋航線服務的船舶艘數與裝載運能為最多；惟船型僅在 8,000 TEU 以下為主。而超大型船舶則配置在遠東/歐洲航線為主，例如 12,508 TEU 船舶即在遠/歐航線上。顯見在全球船舶配置趨勢上，最大運能與最大船型在投入區域上，並不具有一致性。



表 2-1 全球貨櫃船舶主要航線載運量

單位：千 TEU

服務航線	2001	2003	2005	2007
遠東/歐洲越洋主航線				
最大船型	6,788	7,500	8,468	12,508
平均船型	4,123	4,852	4,827	5,870
服務艘數	334	305	421	424
裝載運能(1,000 TEU)	1,377	1,480	2,032	2,489
越大西洋主航線				
最大船型	4,890	6,400	5,060	6,750
平均船型	3,139	3,370	3,090	3,415
服務艘數	237	227	237	275
裝載運能(1,000 TEU)	744	765	732	939
越太平洋主航線				
最大船型	6,600	6,600	8,200	8,200
平均船型	3,541	3,864	4,140	4,581
服務艘數	423	427	514	523
裝載運能(1,000 TEU)	1,498	1,650	2,128	2,396

資料來源：Shipping Statistics and Market Review Volume 51 NO 5/6-2007<sup>[6]</sup>。

## 第三章 上海與高雄港發展現況

### 3.1 上海港現況<sup>1</sup>

#### 3.1.1 港埠概述

##### 1.地理位置

上海港位於中國 18,000 公里大陸海岸線中部，背靠 6,300 公里的長江，地處長江東西運輸通道與海上南北運輸通道的交匯點，屬河口型的沿海港口，港區水域遼闊達 4 千平方公里，是中國大陸最大的港口。前通中國南、北沿海和世界各大洋，後貫長江流域和江、浙、皖內河、太湖流域，位於中國大陸海岸線中部，聯外的水路、公路與鐵路交通均十分發達。

##### 2.經濟腹地

上海港的經濟腹地主要是長江三角洲，包括上海，南京、鎮江、常州、無錫、蘇州、南通、揚州、泰州，杭州、寧波、嘉興、湖州、紹興、舟山等 15 個城市，土地面積 10 餘萬平方公里，人口近 1 億。自然條件優越，腹地經濟發達，集疏管道暢通。

##### 3.港口定位

在大陸交通部「全國沿海港口佈局規劃」中，長江三角洲地區港口群之貨櫃運輸佈局以上海、寧波、蘇州港為幹線港，涵括南京、南通、鎮江等長江下游港口共同組成上海國際航運中心貨櫃運輸系統，連雲港、嘉興、溫州、臺州等為相應佈局之支線港口。

---

<sup>1</sup> 資料來源：1.交通部運輸研究所「高雄港貨櫃碼頭設施合理配置及營運改善策略之研究」(2008)<sup>[7]</sup>。

2.交通部運輸研究所「航運及鄰近港埠發展對臺灣地區港埠之影響研究(1/2)」(2008)<sup>[8]</sup>。

#### 4.管理體制

上海港於 2002 年進行港口行政管理體制改革，2003 年成立「上海市港口管理局」及「上海國際港務(集團)有限公司」，同年再按照公共碼頭和貨主碼頭、海港與內河港口、港政和航務統一管理原則，「上海市港口管理局」再設立「上海港碼頭管理中心」及「上海港港政管理中心」等直屬單位，形成新的港口行政管理架構體系，在這種政企分離的組織架構下，除了授予港埠經營及管理的彈性之外，更有利於引進世界知名船公司及場站經營者的經驗與專業技能，進而加速中國港埠的發展腳步。

##### 3.1.2 貨櫃碼頭設施

從 1991 年起，上海港先後投入近 100 億元(人民幣)，新建了外高橋一至五期碼頭，並實施了外高橋一期碼頭貨櫃化改造。至 2006 年底，上海港營運之貨櫃碼頭計 35 席(詳表 3-1 所示)。其中外高橋地區有 26 個現代化貨櫃碼頭，2006 年外高橋港區的貨櫃吞吐量達 1,500 萬 TEU，成為上海港的「中流砥柱」。洋山一期、二期目前已完成 9 個泊位，碼頭岸線長達 3,000 公尺。由上海港貨櫃碼頭之發展可大略看出貨櫃碼頭市場之變化，初期張華濱、軍功路及寶山等貨櫃碼頭之水深較淺，碼頭長度亦較短；外高橋及洋山港隨著不同時期之開發，其水深、碼頭長度及櫃場面積之規格亦向上調整。目前上海港單一碼頭公司經營之貨櫃碼頭均在 3 座以上，碼頭岸線除外高橋一期外，連續長度均超過 1,000 公尺，櫃場面積亦在 50 公頃以上。

表 3-1 上海港貨櫃碼頭明細

區位	碼頭數	長度 (m)	水深 (m)	碼頭總 面積(ha)	經營(投資)者
張華濱	3	784	-12.5	83	上海集裝箱碼頭， SCT(上港集團、和記黃埔)
軍功路	4	857	-10.5		
寶山	3	640	-10.5		
外高橋一期	3	900	-12.0	49.8	上海浦東國際集裝箱碼頭(上海外高橋保稅區港務公司、和記黃埔、中遠太平洋、上實基建)
外高橋二期	3	900	-13.5	98.74	上港集箱外高橋碼頭， SPCWT
外高橋三期	2	680	-13.5	63	
外高橋四期	4	1250	-14.2	163	上海滬東集裝箱碼頭 (上海港務集團 APM 集團)
外高橋五期	4	1110	-14.2	160	上海明東集裝箱碼頭 (上海港務集團、和記黃埔)
洋山一期	5	1600	-16.0	87	上海盛東集裝箱碼頭
洋山二期	4	1400	-15.5	70	上港集團、和記黃埔、 APM 集團、中遠集團和 中海集團
合計	35	10,121			

資料來源：交通部運輸研究所(2008)<sup>[7]</sup>，「高雄港貨櫃碼頭設施合理配置及營運改善策略之研究」。原始資料引用自上海國際港務集團，不含駁船碼頭。

### 3.1.3 貨櫃裝卸量

上海港 1978 年在軍工路碼頭開闢了至澳大利亞的第一條貨櫃班輪航線，引發了貨櫃運輸的熱潮。1980 年上海港全年的貨櫃吞吐量僅 3 萬 TEU。進入 90 年代以後，上海港的貨櫃吞吐量以平均每年增長 27% 以上的速度突飛猛進，上海港在世界貨櫃港排名自 2003 年起已連續 4

年保持第 3 位。在 2007 年上海港貨櫃吞吐量達到 2,615 萬 TEU，首次超越香港成為世界第 2 大貨櫃港。上海港歷年貨櫃裝卸量資料詳如表 3-2。

**表 3-2 上海港貨櫃裝卸量統計表**

年別	總貨櫃量 (萬 TEU)	總貨櫃量 成長率	世界排名	轉運櫃 (萬 TEU)	轉運櫃量 成長率	轉運比例
2001	634	13.0%	5	4.4	-	0.7%
2002	861	35.8%	4	7.2	63.6%	0.8%
2003	1,128	30.9%	3	13.4	86.1%	1.2%
2004	1,455	29.0%	3	28.2	110.4%	1.9%
2005	1,808	24.3%	3	40.3	42.9%	2.2%
2006	2,171	20.1%	3	60.0	48.9%	2.8%
2007	2,615	20.5%	2	128.0	63.7%	4.9%

### 3.1.4 未來發展規劃與策略

#### 1. 未來發展規劃

根據規劃，未來吳淞港區、外高橋港區和洋山港區將成為上海國際航運中心的三大「箭頭」，在三大港區中，吳淞港區及黃浦江內的部分碼頭將以內貿箱運輸為主；而外高橋港區則以腹地箱源為主，同時兼顧中轉；洋山港區則力爭成為國際中轉港，未來上海港貨櫃增量也將主要集中在洋山港區，洋山三期正在建設中，到 2012 年洋山港規劃將興建近 30 個泊位，預測到 2015 年，整個上海港的吞吐量將達到 3,500 萬 TEU，其中洋山深水港區達到 1,500~1,700 萬 TEU。

碼頭規劃目標確立後，上海港的目標已牢牢鎖定全力推進「長江戰略」，打造中轉核心。從 2001 年起，上港集團就開始著手實施

「長江戰略」，與沿江港口展開密切合作。目前，上海港已與重慶、武漢、長沙、安慶、蕪湖、南京、揚州、九江、江陰等地的港航企業合資組建了貨櫃碼頭、物流、航運等企業，航線覆蓋江蘇、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、四川、重慶等省市的港口，形成了一條完整的「長江經濟鏈」。2006年1月至11月，從長江中轉上海港的貨櫃吞吐量達200多萬個，同比增長30%。未來吳淞港區和外高橋港區將重點服務長江「來客」，力爭使上海港的水水中轉比例在2010年前達到45%。

港口物流亦為上海港另一支柱產業，成為上港集團的核心品牌之一，2005年12月洋山港獲批為保稅港區，實行出口加工區、保稅區和港區的「三區合一」，上港集團已擬定三大措施發展港口物流業，一是整合資源，進一步把整個物流資源整合成一個整體，更好地發揮規模效應；二是大力發展第三方物流，使港口效益得到最大限度放大，目前第三方物流在上海剛剛起步，上港集團有很大的發展空間；三是在現有港口物流資源的基礎上積極拓展，目前正在新建外高橋六期等項目，期望進一步拓展上港物流的發展空間，通過資源整合、業務發展、資源注入來提升上港物流的核心競爭能力。

## 2.發展策略

### (1)關務簡化及保稅物流之推展

為建立上海國際航運中心，必須積極營造良好的港口發展環境。中國政府政務院批准上海外高橋保稅區正式運作，該區功能包括自由貿易、保稅倉儲、保稅加工及貿易服務等主要項目，而2005年則透過上海港各港區與鄰近物流園區實行「區港聯動」運作模式，發揮開放優勢，加速建設上海成為「國際貨櫃轉運中心」及「全球航運物流中心」的政策目標。

### (2)構建內陸運輸網路

提升運輸網路密度、加快西部地區交通網路建設與佈局、加強地區間運輸大通道建設及與周邊國家及洲際交通運輸網路建

設、加速運輸企業戰略性架構調整，透過市場機製以及企業進行改組、改製、改造、重組、聯合及兼併等多種模式，重新調整運輸企業體質。

### (3)積極爭取外商投資

對所有中資及外資企業開放，允許獨資、合資、合作等形式設立貿易、倉儲分撥、加工及其他服務貿易領域的公司，也可以設立包含上述所有領域的複合型企業。無論投資何種企業，外商均可申請 100% 的獨資公司，不受中國大陸政府所訂產業投資導向之限制。生產型企業自獲利年度起第一年免徵所得稅，第二、三年按 7.5% 徵收，第三年起按 15% 徵收；而生產型企業的產品退場門或區內保稅轉接，不徵收加工增值稅。同時稅後利潤可以 100% 換匯向海外匯出，不徵收利潤匯出稅。且透過獲利再投資可以免稅的機制，降低業者租稅成本，鼓勵業者將「錢」留中國，繼續投資。

## 3.2 高雄港現況

### 3.2.1 港埠概述

高雄港是臺灣最大的國際商港，位於臺灣西南海岸，扼臺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、臺電、中油等用地。港區平面圖如圖 3.1 所示。

圖 3.1 高雄港平面圖



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(最大吃水 10.34 公尺)，第二港口之內港口水深 16 公尺，有效寬度 250 公尺，航道寬 150 公尺，可通行 10 萬噸級船舶(最大吃水 14.55 公尺)。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 26,598 公尺，繫船浮筒 19 組，同時可供 150 艘各類船舶靠泊。現有倉庫和通棧 74 棟，總容量 937,936 公噸，露置堆置場 10 處，總容量為 44,866 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，佔全臺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 2007 年全港貨櫃營運量為 1,026 萬 TEU。

### 3.2.2 貨櫃碼頭設施

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 23 座，營運碼頭總長度 7,035.5 公尺。營運方式採用個別碼頭出租給貨櫃航商或裝卸公司。目前 23 座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。各貨櫃儲運中心後線貨櫃場面積詳如表 3-4。各貨櫃儲運中心分別說明如下：

**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	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	14.0	2
	64	出租(萬海)	245.46	30	14.0	2
	65	出租(東方海外)	244.43	30	14.0	2
	66	出租(東方海外)	439.92	30	14.0	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(現代)	320.00	30	14.0	2
	119	出租(現代)	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	75	出租(快桅)	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：依據高雄港務局網站(<http://www.khb.gov.tw>)<sup>[9]</sup>之高雄港港灣設施資料，並按實際情形更新。註：原#40、#41 與#122 等 3 座碼頭為公用貨櫃碼頭，目前已改為雜貨碼頭或多用途碼頭。原本臺灣快桅公司承租#118~119 碼頭，現代商船承租#75 碼頭，兩航商於 97 年 10 月 19 日起交換承租之碼頭。

**表 3-4 高雄港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(含#40~#43 碼頭後線)，容量 2,500TEU。
第二貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 450,000 平方公尺， 容量 14,000TEU。
第三貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 480,000 平方公尺， 容量 17,322TEU。
第四貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 100 公頃(含#115~#122 碼頭後線)， 容量 33,092TEU。
第五貨櫃儲運中心	貨櫃場面積 90 公頃(含#74~#81 碼頭後線)， 容量 51,312TEU。

資料來源：高雄港務局網站(<http://www.khb.gov.tw>)<sup>[9]</sup>之高雄港港灣設施。

### 1.第一貨櫃儲運中心

位於中島商港區，擁有#42~#43 等 2 座貨櫃碼頭，碼頭全長 430.18 公尺，碼頭水深 10.5 公尺，後線貨櫃場面積 10.5 公頃(含#40~#43 碼頭後線)，可儲放貨櫃 2,500TEU。目前，#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 碼頭共裝設貨櫃起重機 3 臺。此外，#40、#41 碼頭早期為公用貨櫃碼頭，由港務局自營，未裝橋式起重機，可配合自備吊桿船舶停靠，由於實際上靠泊的船舶以雜貨船較多，目前港務局已將此 2 碼頭改稱為多用途碼頭或雜貨碼頭。

### 2.第二貨櫃儲運中心

位於前鎮商港區，擁有#63~#66 等 4 座貨櫃碼頭，全長 1,204.71 公尺，碼頭水深 14 公尺，後線貨櫃場面積 45 公頃，可儲放貨櫃 14,000

TEU，共裝設貨櫃起重機 9 臺。#63~#64 碼頭租給萬海航運公司，#65~#66 碼頭租給東方海外公司。

日前高雄港務局已完成第二貨櫃儲運中心的#63~#64 碼頭改建與浚深工程，將碼頭水深由-12 公尺浚深至-14.0 公尺，可靠泊 8,000TEU 以上大型貨櫃船。

### 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 公尺，後線貨櫃場面積 48.0 公頃，可儲放貨櫃 17,322TEU，裝設貨櫃起重機 11 臺。#68~#69 碼頭租給美國總統輪船公司(APL)，而#70 碼頭租給陽明海運公司(YML)。

### 4.第四貨櫃儲運中心

位於中興商港區，擁有#115~#121 等 7 座貨櫃碼頭，全長 2,196.88 公尺，碼頭水深 14 公尺，後線貨櫃場面積 100 公頃(含#115~#122 碼頭後線)，可儲放貨櫃 33,092TEU，裝設貨櫃起重機 19 臺。#115~#117 碼頭租給長榮海運公司，#118~#119 碼頭租給現代商船公司<sup>2</sup>，#120 碼頭租給陽明海運公司，#121 碼頭租給日本郵船公司。原本#122 為公用貨櫃碼頭，現已改為雜貨碼頭，後線 19,000 平方公尺出租給高群公司興建倉庫。

### 5.第五貨櫃儲運中心

位於大仁商港區，擁有#75~#81 等 7 座貨櫃碼頭，全長 2,131.01 公尺，碼頭水深 14~15 公尺，後線貨櫃場面積 90 公頃(含#74~#81 碼頭後線)，可儲放貨櫃 51,312 TEU，裝設貨櫃起重機 20 臺。目前

---

<sup>2</sup> 原本臺灣快桅公司承租#118~119 碼頭，現代商船承租#75 碼頭，兩航商於 97 年 10 月 19 日起交換承租之碼頭。

#75~#77 碼頭租給快桅輪船公司，#78 碼頭租給韓進海運公司，  
#79~#81 碼頭租給長榮海運公司。

### 3.2.3 貨櫃裝卸量

高雄港歷年的進出港貨櫃量如表 3-5 所示。2007 年全港的貨櫃營運量為 1,026 萬 TEU，較 2006 年的 977 萬 TEU 增加了 5%，其中進港為 515 萬 TEU，出港為 510 萬 TEU。

表 3-5 高雄港歷年進出港貨櫃量

年別	總計		進港		出港	
	個數	TEU 數	個數	TEU 數	個數	TEU 數
1993	2,878,686	4,635,896	1,430,581	2,309,931	1,448,105	2,325,965
1994	3,073,435	4,899,879	1,514,702	2,420,141	1,558,733	2,479,738
1995	3,208,890	5,053,183	1,594,195	2,512,137	1,614,695	2,541,046
1996	3,215,028	5,063,048	1,598,678	2,523,896	1,616,350	2,539,152
1997	3,640,093	5,693,339	1,797,880	2,814,592	1,842,213	2,878,748
1998	3,992,106	6,271,053	1,943,401	3,062,480	2,048,705	3,208,574
1999	4,463,031	6,985,361	2,164,932	3,398,909	2,298,099	3,586,453
2000	4,739,242	7,425,831	2,315,758	3,634,740	2,423,484	3,791,092
2001	4,809,167	7,540,524	2,371,799	3,730,342	2,437,368	3,810,183
2002	5,396,280	8,493,052	2,685,620	4,222,174	2,710,660	4,270,878
2003	5,595,323	8,843,365	2,807,831	4,428,744	2,787,492	4,414,621
2004	6,153,993	9,714,115	3,091,587	4,873,325	3,062,406	4,840,790
2005	6,031,413	9,471,056	3,023,747	4,744,796	3,007,666	4,726,261
2006	6,230,277	9,774,671	3,097,791	4,850,163	3,132,486	4,924,507
2007	6,523,690	10,256,830	3,279,283	5,151,888	3,244,407	5,104,941

資料來源：高雄港統計年報(2004~2008)<sup>[10]</sup>。

### 3.2.4 貨櫃碼頭未來新建計畫

在未來發展方面，高雄港務局關於貨櫃碼頭有以下的新建計畫：

#### 1. 洲際貨櫃中心計畫

計畫於高雄港第二港口南側之外海區域，以填海造陸方式填築約 512.7 公頃之新生地作為開發基地，設置 5 座水深-16.5 公尺以上之深水貨櫃碼頭及後線場地 183 公頃，將可泊靠 15,000 TEU 級的新一代巨型貨櫃船，並興建 42,000 DWT 級之石化油品碼頭 8 座及石化油品卸儲中心，碼頭水深為-14 公尺。計畫完成後將可滿足高雄港未來貨櫃運輸之需求，以提昇高雄港之國際競爭力，維持成為洲際貨櫃樞紐港埠之優勢。

#### 2. 長程貨櫃發展計畫

計畫於高雄港第二港口北防波堤北側之海域填築約 322 公頃之新生地，作為貨櫃業務之長程發展基地。初步計畫興建 13 席直線型碼頭及 2 席船渠式碼頭，碼頭總長度約 6,500 公尺，水深條件在 -16.5~-18 公尺。未來將視全球海運市場之發展情況，規劃容納最新式的貨櫃船舶，以保留高雄港繼續發展貨櫃業務之空間。

目前正在推動「洲際貨櫃中心計畫」的第一期工程，計畫由高雄市政府完成紅毛港遷村計畫取得用地後，高雄港務局辦理基礎設施興建工作，由民間業者依據促參法之 BOT 方式投資興建 4 席水深 16 公尺、總長度為 1,500 公尺之貨櫃碼頭，以及後線場地面積約 75 公頃之貨櫃中心。預定在民國 99 年底計畫完成後，可提供 1 萬 TEU 級貨櫃船泊靠，每年可增加約 200 萬 TEU 之貨櫃裝卸量。

## 第四章 貨櫃航運路線決策模式

Hsu 與 Hsieh(2007)<sup>[2]</sup>提出一個以航運成本、存貨成本為雙目標的貨櫃運送模式，可用以進行運送路線決策分析，本研究將以此模式做為探討之基礎。模式中使用的數學符號說明如下：

$n$ ：航線靠泊港數。

$t$ ：下標，表船型。

$f$ ：運送頻次(次/季)。

$Q_{ij}$ ：港  $i$  至港  $j$  之貨物載運量(TEU/季)。

$i, j, k, l$ ：下標，表靠泊港別。

$R_i$ ：港  $i$  的平均毛裝卸效率(TEU/日)。

$W_i$ ：港  $i$  的貨櫃船平均進出港時間(日)。

$D_i$ ：航線上港  $i$  與港  $i + 1$  間的航行距離(海浬)。

$V_t$ ： $t$  型船的服務航速(海浬/日)。

$S_t$ ： $t$  型船的平均每日船舶時間成本(美元/日)。

$F_t$ ： $t$  型船在海上的單位距離燃油成本(美元/海浬)。

$B_{it}$ ： $t$  型船在港  $i$  的燃油成本(美元)。

$\alpha_{it}$ ：一艘  $t$  型船進港  $i$  之港灣費用固定部份(美元)。

$\beta_{it}$ ：一  $t$  型船進港  $i$  之港灣費用隨靠碼頭裝卸時間變動部份(美元)。

$G_i$ ：在港  $i$  處理單位貨櫃的平均處理成本(美元/TEU)。

$TC1$ ：一航線整季的總航運成本(美元)。

$AC1$ ：一航線之單位貨櫃航運成本(美元/TEU)。

$H$ ：單位貨櫃貨物的每日平均時間價值(美元/日×TEU)。

$T_{ij}$ ：在航線上貨櫃由港  $i$  至港  $j$  的航運時間(日)。

$$\delta_{ijk} : \begin{cases} 1, & \text{起迄為港 } i, j \text{ 之貨物經過港 } k \text{ 與港 } k+1 \text{ 間之航段,} \\ 0, & \text{沒有經過。} \end{cases}$$

## 4.1 成本函數構建

海運定期貨櫃航線由於船舶運量大，為擴大集貨區通常靠泊多個港，因此本研究針對一多港靠泊航線做分析。考慮一航線共靠  $n$  ( $n \in N$ ) 個港，運送路線如圖 4.1 所示，從港 1 開始，經過港 2、港 3、...、至港  $n$  後返回港 1。此  $n$  港可完全不同(如圖 4.1(a))，或部份港在去程與回程時各靠泊一次而部份相同(如圖 4.1(b))。航商使用  $t$  型船提供每季  $f$  次之航運服務。此外，文中船舶係指全貨櫃船(full container ship)，貨櫃以普通乾櫃為討論對象，且以 TEU 為單位。

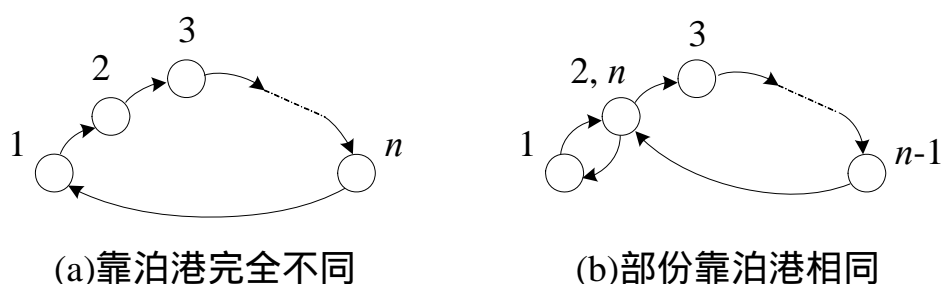


圖 4.1 定期貨櫃航線之運送路線

假設各港間貨物載運量確定，以  $Q_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) 表示由港  $i$  至港  $j$  的一季貨物載運量，當  $i = j$  時  $Q_{ij} = 0$ ，則在任一港  $i$  一航次(per round voyage)的貨櫃船裝櫃量為  $\frac{1}{f} \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ ，卸櫃量為  $\frac{1}{f} \sum_{j=1}^n Q_{ji}$ 。以下探討各項成本之影響因素，推導航運成本函數與貨物存貨成本函數。



#### 4.1.1 航運成本函數

航運成本包含航商擁有與使用船舶須固定花費或分攤的船舶時間成本，以及船舶航行須耗費的燃油成本、灣靠港口須支付的港埠成本。

##### 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，包括了擁有船舶須負擔的資本成本，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。通常大型船的建造成本較高，使得大型船的平均每日船舶時間成本高於小型船，因此，船舶時間成本基本上因船型( $t$ )而異，且隨船型增大而增加。此外，船舶時間成本與船舶營運時間長度成正比，貨櫃航線一航次的總航行時間愈長，運送頻次愈高，則船舶時間成本亦愈高。

一航次總航行時間包括船舶在海上的時間以及在各港的滯港時間。貨櫃船在港的滯港時間可分為二部份，一是裝卸時間，為船舶靠泊碼頭之貨櫃裝卸時間，包括等待裝卸的時間、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  $R_i$  表示港  $i$  的毛裝卸效率(gross handling rate, TEU/日)，則船舶在港  $i$  的裝卸時間為該港的貨櫃裝卸量除以毛裝卸效率，即  $\frac{1}{fR_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ；二是進出港時間，包括船舶進出港的內港航行時間與進出港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  $W_i$  (日)表示在港  $i$  的進出港時間，則貨櫃船在港  $i$  的滯港時間為  $W_i + \frac{1}{fR_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ，將  $n$  個港的滯港時間加總，可求得一航次總滯港時間為

$$\sum_{i=1}^n W_i + \frac{1}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right)。$$

考慮船舶在海上多保持固定服務航速，則貨櫃船在海上的時間可用總航程除以服務航速估算。以  $D_i$  表示航線上港  $i$  與港  $i + 1$  間的航行距離， $V_t$  表示  $t$  型船的服務航速(海浬 / 日)，則一航次總海上時間為  $\frac{1}{V_t} \sum_{i=1}^n D_i$ 。加總總滯港時間與總海上時間，求得一航次總航行時間為

$$\sum_{i=1}^n (W_i + \frac{D_i}{V_t}) + \frac{1}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right)。$$

以  $S_t$  表示  $t$  型船的平均每日船舶時間成本，則整季的總船舶時間成本為平均每日船舶時間成本( $S_t$ ) 每季運送頻次( $f$ )與一航次的總航行時間三者之乘積，即

$$f S_t \sum_{i=1}^n (W_i + \frac{D_i}{V_t}) + S_t \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right) \dots\dots\dots (4.1)$$

## 2.船舶燃油成本

船舶燃油成本表示船舶航行須耗費的燃料費用，分為海上航行與在港埠之燃油成本。考慮船舶在海上航行時多保持固定服務航速，燃油成本與航行距離成正比，並隨船型( $t$ )增大而增加，而船舶在進入港區時將減速慢行，耗油狀況與在海上不同，且由進港至靠泊碼頭尚須航行一段距離，當港域愈大時，相對的港內航行距離增加，則船舶在港燃油成本除與船型相關外，並將因港而異。以  $F_t$  表示  $t$  型船在海上的單位距離燃油成本， $B_{it}$  表示  $t$  型船在港  $i$  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

$$f \sum_{i=1}^n (F_t D_i + B_{it}) \dots\dots\dots (4.2)$$

### 3.港埠成本

港埠成本為船舶靠港須支付的費用，可分為港灣費用與棧埠費用兩部份。其中，港灣費用為船舶在港埠須支付的各項費用，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須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、機具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，通常依船舶總噸位(或容量)、靠碼頭時間長短收取，故港灣費用隨船型( $t$ )增大而增加，且隨靠碼頭之裝卸時間增長而增加。以  $\alpha_{it}$  與  $\beta_{it}$  表示  $t$  型船進港  $i$  之港灣費用的固定部份與隨靠碼頭裝卸時間變動部份，則整季在港  $i$  的港灣費用為固定費用 ( $f\alpha_{it}$ ) 加上變動費用 ( $\beta_{it}$ ) 與靠碼頭裝卸時間 ( $\frac{1}{R_i} \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ) 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，考慮貨櫃係利用岸上機具進行裝卸，以  $G_i$  表示在港  $i$  處理單位貨櫃(TEU)的平均處理成本，則在港  $i$  的棧埠費用為在該港的貨櫃總裝卸量 ( $\sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ) 與單位貨櫃處理成本 ( $G_i$ ) 之乘積，為  $G_i \sum_{j=1}^n (Q_{ij} + Q_{ji})$ ，整季的總棧埠費用為所有港棧埠費用之和，為  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_i (Q_{ij} + Q_{ji})$ 。

總港埠成本為總港灣費用與總棧埠費用之和，即

$$f \sum_{i=1}^n \alpha_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{\beta_{it}}{R_i} + G_i \right) \cdot (Q_{ij} + Q_{ji}) \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

總航運成本為船舶時間成本(式(4.1))、船舶燃油成本(式(4.2))與港埠成本(式(4.3))三者之和，以  $TC1$  表示整季的總航運成本，則

$$TC1 = f \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i \left( \frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[ \left( G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right] \quad (4.4)$$

再以  $AC1$  表示單位貨櫃航運成本，單位貨櫃航運成本為總航運成本( $TC1$ )除以總航線貨物載運量( $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ )，則

$$AC1 = \frac{f \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i \left( \frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[ \left( G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (4.5)$$

#### 4.1.2 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呈正向關係。在此僅考慮因航運服務發生的存貨成本，包括了貨物在出發港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物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；後者為貨物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。

##### 1. 等待時間成本

假設貨物到達出發港的到達率為均勻分配，則貨物在出發港等待船舶的平均等待時間為二分之一個運送週期，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載運量( $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ )、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

$$\frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} \dots\dots\dots (4.6)$$

## 2.航運時間成本

貨物在船上運送時所發生的航運時間成本可由貨物在船上的航運時間乘以貨物時間價值( $H$ )估算。不過，貨物在船上的航運時間因起迄港不同而異。以  $T_{ij}$  (日)表示在航線上貨物由港  $i$  至港  $j$  的航運時間，則  $T_{ij}$  包括由港  $i$  至港  $j$  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，則貨物由港  $i$  至港  $j$  的航運時間( $T_{ij}$ )可表示如下：

$$\begin{aligned} T_{ij} &= \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left[ W_k + \frac{1}{fR_k} \sum_{l=1}^n (Q_{kl} + Q_{lk}) + \frac{D_k}{V_t} \right] \dots\dots\dots (4.7) \\ &= \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left( W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{1}{f} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{\delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \end{aligned}$$

式中  $\delta_{ijk}$  為 0,1 變數，

$$\delta_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{起迄為港 } i, j \text{ 之貨物經過港 } k \text{ 與港 } k+1 \text{ 間之航段,} \\ 0, \text{沒有經過。} \end{cases} \dots\dots(4.8)$$

則起迄為港  $i$ 、 $j$  之貨物的航運時間成本為貨物載運量( $Q_{ij}$ )、運送時間 ( $T_{ij}$ ) 與貨櫃時間價值 ( $H$ ) 三者之乘積，為

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

$H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Q_{ij} T_{ij})$ ，即為

$$H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left( W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{H}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \dots\dots\dots (4.9)$$

總貨物存貨成本為等待時間成本(式(4.6))與航運時間成本(式(4.9))之和，以  $TC2$  表示總貨物存貨成本，則

$$TC2 = \frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} + H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left( W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{H}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \quad (4.10)$$

再以  $AC2$  表示單位貨櫃存貨成本，單位貨櫃存貨成本為總貨物存貨成本( $TC2$ )除以總航線貨物載運量( $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ )，即

$$AC2 = \frac{91H}{2f} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left( W_k + \frac{D_k}{V_t} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})}{f \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (4.11)$$

#### 4.1.3 成本函數之特性

在構建的航運成本函數與貨物存貨成本函數中，貨物載運量( $Q_{ij}$ )、港埠間航距( $D_i$ )、在港貨物處理成本( $G_i$ )、港埠毛裝卸效率( $R_i$ )、進出港時間( $W_i$ )、貨物運送經特定航段變數( $\delta_{ijk}$ )、貨物時間價值( $H$ )、港灣費用之固定費用( $\alpha_{it}$ )、港灣費用之變動費用( $\beta_{it}$ )、每日船舶時間成本( $S_t$ )、海上單位距離燃油成本( $F_t$ )、在港燃油成本( $B_{it}$ )、航速( $V_t$ )等均為外生的參變數。其中，在港貨物處理成本( $G_i$ )、港埠毛裝卸效率( $R_i$ )、進出港時間( $W_i$ )、港灣費用之固定費用( $\alpha_{it}$ )、港灣費用之變動費用( $\beta_{it}$ )與在港燃油成本( $B_{it}$ )等六項為港埠相關參變數，由其數值大小可反應港埠費率與效率之高低，而每日船舶時間成本( $S_t$ )、海上單位距離燃油成本( $F_t$ )、在港燃油成本( $B_{it}$ )、航速( $V_t$ )、港灣費用之固定費用( $\alpha_{it}$ )、港灣費用之變動費用( $\beta_{it}$ )等六項為船舶相關參變數，對任一特定船型( $t$ )而言，這些船舶相關參變數為外生的定值，但隨船型( $t$ )改變而變動，由不同船型的船舶相關參變數之相對大小，可反應船舶的規模經濟性或船價成本、船舶耗油量隨航速增快而增加之現象。在航線確定、灣靠港口已

知情況下，航運成本與貨物存貨成本將僅隨船型( $t$ )與頻次( $f$ )兩決策變數改變。

由兩成本函數的數學式可知，對於任一特定  $t$  型船而言，降低運送頻次可降低貨物的航運成本，但卻使貨物存貨成本增加，顯示兩成本之間存在替換關係，且此一替換關係可透過頻次加以連結。當有多種船型時，船型與頻次兩決策變數互相關聯，共同決定航運成本與貨物存貨成本，對於運送一固定的貨物載運量，航商可以選擇以大型船提供較低頻次的服務，或以小型船提供較高頻次的服務。一般而言，頻次為正整數，不過由於在實際的航運市場中貨櫃航線的頻次通常以週或月為單位，安排每週一班、每週二班、兩週三班或每月三班等不同運送頻次，這些頻次在理論模式中不易以整數表示，因此，本研究在理論推導時考慮頻次為正實數，而後在範例分析時再進一步考慮實務可行的運送頻次。

此外，構建的成本函數可反應貨櫃運送的規模經濟性。一方面透過港灣費用( $\alpha_{it}$ 、 $\beta_{it}$ )、每日船舶時間成本( $S_t$ )、燃油成本( $F_t$ 、 $B_{it}$ )、航速( $V_t$ )等六項船舶相關參變數因船而異之特性，以反應船舶規模經濟性。另方面構建的成本函數為貨物載運量相依的函數，可反應航運成本與貨物存貨成本隨貨物載運量變動之情形。雖然因成本為多港靠泊航線之成本，不易直接由構建的數學式看出流量規模經濟特性，若假設各港埠相關參變數不因港而異，即令  $G_i=G$ 、 $R_i=R$ 、 $W_i=W$ 、 $B_{it}=B_t$ 、 $\alpha_{it}=\alpha_t$ 、 $\beta_{it}=\beta_t$ ，則單位貨櫃航運成本的數學式(式(4.5))可改寫如下：

$$AC1 = \frac{f \left[ n(\alpha_t + S_t W + B_t) + \left( \frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \sum_{i=1}^n D_i \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} + 2 \left( G + \frac{\beta_t + S_t}{R} \right) \dots\dots\dots (4.12)$$

上式顯示單位貨櫃航運成本( $AC1$ )隨總貨物載運量( $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ )增加而減少，顯示成本函數的流量規模經濟特性。

## 4.2 路線決策

單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本兩目標間存在替換關係，即當航線頻次密集時單位貨櫃存貨成本低而單位貨櫃航運成本高，當航線頻次稀疏時單位貨櫃航運成本低而單位貨櫃存貨成本高，故決策不存在能同時最佳化兩目標的完全最佳解，而將得到許多柏拉圖最佳解。柏拉圖最佳的觀念是多目標規劃的一個基本概念，亦即，沒有任一目標值能在不損及其他目標值下能更改善時，即為柏拉圖最佳解 (Cohon(1978)<sup>[11]</sup>)。依此，當決策模式的雙目標為整個系統總航運成本與整個系統總存貨成本最小化時，可探討軸輻海運網路的直接與轉運路線決策。

為了區別不同航線，本章在航線相關的數學符號上加上標  $m$  表示航線別。因此，任一航線  $m$  的總航運成本改以  $TC1^m$  表示，其成本函數由式(4.4)改寫為

$$TC1^m = f \sum_i \left[ \alpha_{it} + S_i W_i + B_{it} + D_i^m \left( \frac{S_i}{V_t} + F_t \right) \right] + \sum_i \sum_j \left[ \left( G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_i}{R_i} \right) (Q_{ij}^m + Q_{ji}^m) \right] \dots (4.13)$$

任一航線  $m$  的總存貨成本改以  $TC2^m$  表示，其成本函數由式(4.10)改寫為

$$TC2^m = \frac{91H}{2f} \sum_i \sum_j Q_{ij}^m + H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m \left( W_k + \frac{D_k^m}{V_t} \right) + \frac{H}{f} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m}{R_k} (Q_{kl}^m + Q_{lk}^m) \dots (4.14)$$

兩成本函數中的參變數  $Q_{ij}^m$ 、 $D_i^m$ 、 $T_{ij}^m$  與  $\delta_{ijk}^m$  分別表示航線  $m$  上由港  $i$  至港  $j$  的貨物載運量、港  $i$  與港  $i+1$  間的航行距離、貨櫃由港  $i$  至港  $j$  的航運時間、港  $i$  至港  $j$  之貨櫃有無經過港  $k$  與港  $k+1$  間航段。

令  $\Gamma_t^{11,m}$  表示航線  $m$  以  $t$  型船營運之基本航運成本， $\Gamma_t^{12,m}$  表示頻次增加一航次所增加的航運成本， $\Gamma_t^{21,m}$  表示航線  $m$  以  $t$  型船營運之基本貨物存貨成本， $\Gamma_t^{22,m}$  表示頻次增加一航次所增加的貨物存貨成本。 $\Gamma_t^{11,m}$ 、



$\Gamma_t^{12,m}$ 、 $\Gamma_t^{21,m}$  與  $\Gamma_t^{22,m}$  的數學式如下所示：

$$\Gamma_t^{11,m} = \sum_i \sum_j \left[ \left( G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij}^m + Q_{ji}^m) \right] \dots\dots\dots (4.15)$$

$$\Gamma_t^{12,m} = \sum_i \left[ \alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i^m \left( \frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] \dots\dots\dots (4.16)$$

$$\Gamma_t^{21,m} = H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m \left( W_k + \frac{D_k^m}{V_t} \right) \dots\dots\dots (4.17)$$

$$\Gamma_t^{22,m} = \frac{91H}{2} \sum_i \sum_j Q_{ij}^m + H \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m}{R_k} (Q_{kl}^m + Q_{lk}^m) \dots\dots\dots (4.18)$$

則航運成本函數與貨物存貨成本函數可改寫如下：

$$TC1^m = \Gamma_t^{11,m} + \Gamma_t^{12,m} f \dots\dots\dots (4.19)$$

$$TC2^m = \Gamma_t^{21,m} + \Gamma_t^{22,m} (f)^{-1} \dots\dots\dots (4.20)$$

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

$$(TC1^m - \Gamma_t^{11,m})(TC2^m - \Gamma_t^{21,m}) = \Gamma_t^{12,m} \Gamma_t^{22,m} \dots\dots\dots (4.21)$$

式(4.21)明確顯示兩成本間的反向變動關係，且為雙曲線函數，如圖 4.2 所示。對任一型船而言，當貨物載運量、船舶相關參數與港埠相關參數均不變時，隨著貨物存貨成本( $TC2^m$ )的增加，航運成本( $TC1^m$ )減少，且減少比率隨貨物存貨成本增加而遞減，當貨物存貨成本趨近於無限大( $TC2^m \rightarrow \infty$ )時，航運成本趨近於  $\Gamma_t^{11,m}$  ( $TC1^m \rightarrow \Gamma_t^{11,m}$ )；相同的，隨著航運成本( $TC1^m$ )的增加，貨物存貨成本( $TC2^m$ )減少，且減少比率隨航運成本增加而遞減，當航運成本趨近於無限大( $TC1^m \rightarrow \infty$ )時，貨物存貨成本趨近於  $\Gamma_t^{21,m}$  ( $TC2^m \rightarrow \Gamma_t^{21,m}$ )。同樣地，令  $f_t^{m-\min}$  表示航線  $m$  上  $t$  型船的

最小頻次， $f_t^{m-\min} = \frac{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^m Q_{ij}^m}{U_t}$ ，並令  $\overline{TC1_t^m}$  與  $\overline{TC2_t^m}$  分別表示在最小頻

次時的總航運成本值與總存貨成本值，且在目標值空間上  $(\overline{TC2_t^m}, \overline{TC1_t^m})$  點以最小頻次點稱之。則任一  $t$  型船的頻次可行解位於成本關係曲線之最小頻次點  $(\overline{TC2_t^m}, \overline{TC1_t^m})$  左上方的實線部份，如圖 4.2 所示。

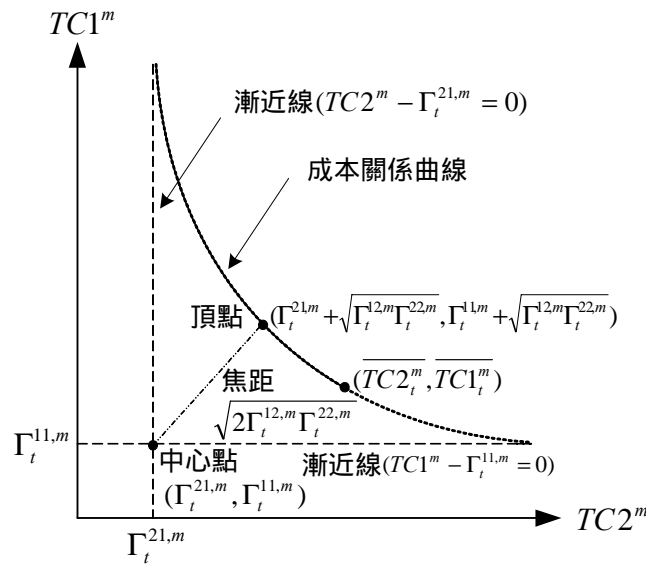


圖 4.2 任一  $t$  型船的可行解

當船型只有一種時，該型船之可行解即為柏拉圖最佳解，而當船型有兩種或兩種以上時，由於港灣費用( $\alpha_{it}$ 、 $\beta_{it}$ )、每日船舶時間成本( $S_t$ )、燃油成本( $F_t$ 、 $B_{it}$ )與航速( $V_t$ )等船舶相關參數因船型而異，使得各型船的成本關係曲線、最小頻次點  $(\overline{TC2_t^m}, \overline{TC1_t^m})$  不相同，各型船可行解落在目標值空間上的不同位置，此時，柏拉圖最佳解由最接近原點(0,0)之各型船可行解曲線所組成。

接下來開始以總航運成本與總存貨成本最小化為雙目標進行直接與轉運之路線決策。由於一集貨航線貨物採直接運送或轉運只影響到該集貨航線、直運航線與主航線三者之成本，其他集貨航線之成本不

變，因此，在分析兩運送路線之決策時僅須計算比較此三路線的成本。

圖 4.3 顯示出一條主航線的基本軸輻海運網路。軸輻網路服務兩區域(地區 I 與地區 II)，在兩區域內分別分為一至數個子區域，而各子區域中各有一個軸心港與數個集貨港。所有子區域內欲運送至另一區域的貨物先透過集貨航線集中於當地軸心港，然後經主航線運送至另一區域軸心港，再透過當地集貨航線分送至各個集貨港。本研究針對此一基本的軸輻海運網路做探討，主要分析貨物由任一集貨航線上集貨港 ( $p_1$ 、 $p_2$ ) 運至另一地區軸心港 ( $p_5$ 、 $p_6$ )，應以直運航線  $d$  ( $p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_5 \rightarrow p_6 \rightarrow p_5 \rightarrow p_1$ ) 直接運送，或利用集貨航線  $s$  ( $p_3 \rightarrow p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3$ ) 與主航線  $h$  ( $p_3 \rightarrow p_4 \rightarrow p_5 \rightarrow p_6 \rightarrow p_5 \rightarrow p_4 \rightarrow p_3$ ) 透過當地軸心港( $p_3$ )轉運。在本研究中直運航線定義為可將集貨港貨物直接運送至另一地區軸心港，不需經當地軸心港轉運的航線。

如圖 4.3 所示：在採直接運送時僅須計算考慮直運航線  $d$ 、集貨航線  $s$  與主航線  $h$  三航線的總航運成本與總存貨成本，而在採轉運時因無直運航線則計算集貨航線  $s$  與主航線  $h$  兩航線的總航運成本與總存貨成本，分別求得兩運送路線之柏拉圖最佳解後，可相互比較以進行路線決策。

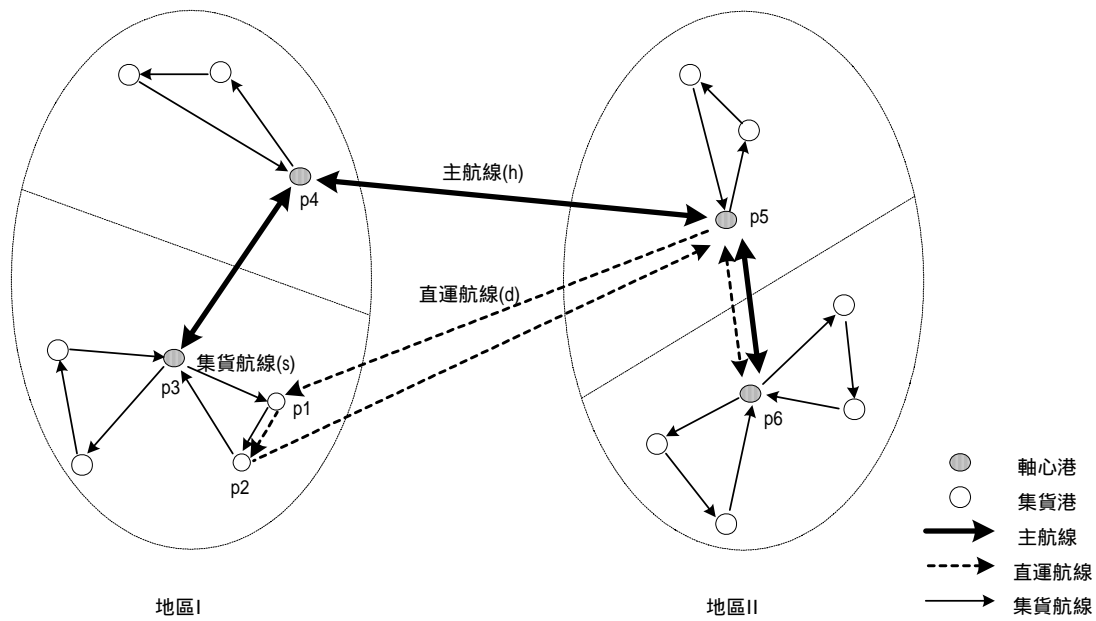


圖 4.3 基本的軸輻海運網路型態示意圖

因為軸心港有集中貨物運送的功能，假設軸心港間的主航線之貨物載運量很大，使得航商在安排主航線航運服務時不受存貨成本限制，得直接安排航運成本最小之航運服務。以  $t^*$  表示主航線最小航運成本值 ( $\overline{TC1}_t^h$ ) 最低之船型，則主航線之航運成本為  $\overline{TC1}_{t^*}^h$ ，相對應之存貨成本為  $\overline{TC2}_{t^*}^h$ 。由最小航運成本值發生在航線頻次為最小頻次時，即

$f = f_{t^*}^{h-\min} = \frac{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h}{U_{t^*}}$  時，將上式代入式(4.13)與式(4.14)中，求得

$$\overline{TC1}_{t^*}^h = \frac{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h}{U_{t^*}} \sum_i \left[ \alpha_{it^*} + S_{it^*} W_i + B_{it^*} + D_i^h \left( \frac{S_{it^*}}{V_{it^*}} + F_{it^*} \right) \right] + \dots \quad (4.22)$$

$$\sum_i \sum_j \left[ \left( G_i + \frac{\beta_{it^*}}{R_i} + \frac{S_{it^*}}{R_i} \right) (Q_{ij}^h + Q_{ji}^h) \right]$$

$$\begin{aligned} \overline{TC2}_t^h = & \frac{91HU_t^*}{2 \text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h} \sum_i \sum_j Q_{ij}^h + H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^h \delta_{ijk}^h \left( W_k + \frac{D_k^h}{V_t^*} \right) + \\ & \frac{HU_t^*}{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^h \delta_{ijk}^h}{R_k} (Q_{kl}^h + Q_{lk}^h) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.23)$$

#### 4.2.1 貨物轉運時的成本關係式

以  $TTC1$  與  $TTC2$  分別表示主航線  $h$ 、直運航線  $d$  與集貨航線  $s$  三航線的總航運成本與總貨物成本。當貨物採轉運路線時，由於無直運航線  $d$ ，故三航線總航運成本( $TTC1$ )為主航線  $h$  的航運成本( $\overline{TC1}_t^h$ )與集貨航線  $s$  的航運成本( $TC1^s$ )之和，即

$$TTC1 = \overline{TC1}_t^h + TC1^s \quad \dots\dots\dots (4.24)$$

同樣的，三航線總存貨成本( $TTC2$ )為主航線  $h$  的存貨成本( $\overline{TC2}_t^h$ )與集貨航線  $s$  的存貨成本( $TC2^s$ )之和，即

$$TTC2 = \overline{TC2}_t^h + TC2^s \quad \dots\dots\dots (4.25)$$

式(4.24)中的  $TC1^s$  與式(4.25)中的  $TC2^s$  分別為集貨航線  $s$  之航運成本與存貨成本，由前述分析可知此兩成本具有此消彼漲的替換關係，當該航線使用任意  $t$  型船時，航運成本( $TC1^s$ )與存貨成本( $TC2^s$ )之間具有雙曲線數學函數關係，如下所示：

$$TC2^s = \Gamma_t^{21,s} + \frac{\Gamma_t^{12,s} \cdot \Gamma_t^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_t^{11,s}} \quad \text{for } TC1^s \geq \overline{TC1}_t^s \quad \dots\dots\dots (4.26)$$

式(4.26)係由式(4.21)加上船舶容量限制之情況，式中參數  $\Gamma_t^{11,s}$ 、 $\Gamma_t^{12,s}$ 、 $\Gamma_t^{21,s}$ 、 $\Gamma_t^{22,s}$  的定義如式(4.15)-(4.18)所示。進一步，將式(4.24)-(4.25)代入式(4.26)中，得到採轉運時之三航線總航運成本( $TTC1$ )與總存貨成

本( $TTC2$ )關係如下：

$$TTC2 = \overline{TC2}_{t^*}^h + \Gamma_t^{21,s} + \frac{\Gamma_t^{12,s} \cdot \Gamma_t^{22,s}}{TTC1 - \overline{TC1}_{t^*}^h - \Gamma_t^{11,s}} \quad \text{for } TTC1 \geq \overline{TC1}_{t^*}^h + \overline{TC1}_t^s \dots\dots (4.27)$$

式(4.27)顯示在採轉運時之三航線總航運成本( $TTC1$ )與總存貨成本( $TTC2$ )亦具有雙曲線數學函數關係，其在目標值空間上的圖形實為式(4.26)之雙曲線圖形往右平移 $\overline{TC2}_{t^*}^h$ 、且往上平移 $\overline{TC1}_{t^*}^h$ 。

由前一節分析可知，依據式(4.26)可求得集貨航線 $s$ 在以航運成本( $TC1^s$ )與存貨成本( $TC2^s$ )雙目標最小化的柏拉圖最佳解，決定該航線在不同存貨成本或航運成本水準下的最適船型與頻次。同理，依據式(4.27)可求得採轉運時在以三航線總航運成本( $TTC1$ )、總存貨成本( $TTC2$ )雙目標最小化的柏拉圖最佳解，決定集貨航線與主航線在不同存貨成本下的最適船型與頻次。基本上，由式(4.25)的函數圖形為式(4.26)之雙曲線圖形往右上方移動，可以推論採轉運時之柏拉圖最佳解實際上是集貨航線 $s$ 柏拉圖最佳解中的航運成本值加上定值 $\overline{TC1}_{t^*}^h$ ，存貨成本值加上定值 $\overline{TC2}_{t^*}^h$ 。

#### 4.2.2 貨物直接運送時的成本關係式

當貨物採直接運送時，三航線總航運成本( $TTC1$ )為主航線航運成本( $\overline{TC1}_t^h$ )、集貨航線航運成本( $TC1^s$ )與直運航線航運成本( $TC1^d$ )之和，即

$$TTC1 = \overline{TC1}_t^h + TC1^s + TC1^d \dots\dots\dots (4.28)$$

三航線總存貨成本( $TTC2$ )為主航線存貨成本( $\overline{TC2}_{t^*}^h$ )、集貨航線存貨成本( $TC2^s$ )與直運航線存貨成本( $TC2^d$ )之和，即

$$TTC2 = \overline{TC2}_{t^*}^h + TC2^s + TC2^d \dots\dots\dots (4.29)$$

與分析轉運路線之成本相同，在採直接運送時集貨航線  $s$  的航運成本( $TC1^s$ )與存貨成本( $TC2^s$ )、直運航線  $d$  的航運成本( $TC1^d$ )與存貨成本( $TC2^d$ )兩兩間分別具有此消彼漲的替換關係。當集貨航線  $s$  使用任意  $ti$  船型時，該航線之航運成本( $TC1^s$ )與存貨成本( $TC2^s$ )關係如下：

$$TC2^s = \Gamma_{ti}^{21,s} + \frac{\Gamma_{ti}^{12,s} \cdot \Gamma_{ti}^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_{ti}^{11,s}} \quad \text{for } TC1^s \geq \overline{TC1_{ti}^s} \dots\dots\dots (4.30)$$

當直運航線  $d$  使用任意  $tj$  船型時的航運成本( $TC1^{d,\zeta}$ )與存貨成本( $TC2^{d,\zeta}$ )關係如下：

$$TC2^d = \Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TC1^d - \Gamma_{tj}^{11,d}} \quad \text{for } TC1^d \geq \overline{TC1_{tj}^d} \dots\dots\dots (4.31)$$

將式(4.30)-(4.31)代入式(4.29)中，並以  $TTC1 - \overline{TC1_t^h} - TC1^s$  替代  $TC1^d$ ，得到採直接運送時三航線總航運成本( $TTC1$ )與總存貨成本( $TTC2$ )之關係如下：

$$TTC2 = \overline{TC2_t^h} + \Gamma_{ti}^{21,s} + \frac{\Gamma_{ti}^{12,s} \cdot \Gamma_{ti}^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_{ti}^{11,s}} + \Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TTC1 - \overline{TC1_t^h} - TC1^s - \Gamma_{tj}^{11,d}} \dots\dots\dots (4.32)$$

for  $\overline{TC1_{ti}^s} \leq TC1^s \leq TTC1 - \overline{TC1_t^h} - \overline{TC1_{tj}^d}$  and  $TTC1 \geq \overline{TC1_t^h} + \overline{TC1_{ti}^s} + \overline{TC1_{tj}^d}$

上式顯示當集貨航線使用  $ti$  型船、直運航線使用  $tj$  型船時，任一可行的總航運成本( $TTC1$ )值對應無數個總存貨成本( $TTC2$ )值。對於某一特定的總航運成本( $TTC1$ )值而言，隨集貨航線航運成本( $TC1^s$ )值增加，集貨航線存貨成本( $TC2^s$ ； $\Gamma_{ti}^{21,s} + \frac{\Gamma_{ti}^{12,s} \cdot \Gamma_{ti}^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_{ti}^{11,s}}$ )增加而直運航線存貨成本( $TC2^d$ ； $\Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TTC1 - \overline{TC1_t^h} - TC1^s - \Gamma_{tj}^{11,d}}$ )減少，使得總存貨成本( $TTC2$ )值隨集貨航線航運成本( $TC1^s$ )值之增加而先減後增，如圖 4.4 所示。

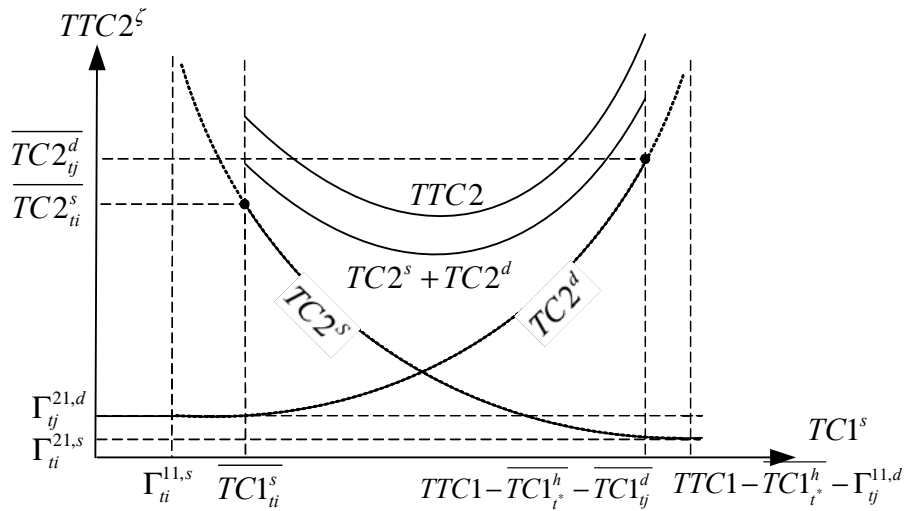


圖 4.4 當採直接運送時在特定三航線總航運成本( $TTC1$ )值時三航線總存貨成本( $TTC2$ )值隨集貨航線航運成本( $TC1^s$ )值變動示意圖

當追求總航運成本與總存貨成本雙目標最小化時，圖 24 中的  $TTC2$  最小值為相對於特定  $TTC1$  值之最佳解，該值可令  $TTC2$  值對  $TC1^s$  的一階導數為零而求得。由於此一相對於特定  $TTC1$  值之  $TTC2$  最小值會隨  $TTC1$  值改變，當  $TTC1$  值為  $\overline{TC1^h_{t^*}} + \overline{TC1^s_{ti}} + \overline{TC1^d_{tj}}$  時，該  $TTC2$  值為  $\overline{TC2^h_{t^*}} + \overline{TC2^s_{ti}} + \overline{TC2^d_{tj}}$ ，隨  $TTC1$  值增加而此  $TTC2$  值漸減，當  $TTC1$  值趨近於無限大時，此  $TTC2$  值趨近於  $\overline{TC2^h_{t^*}} + \Gamma_{ti}^{21,s} + \Gamma_{tj}^{21,d}$ ，變動趨勢如圖 4.5 所示。

圖 4.5 中的曲線亦表示當採直接運送在集貨航線使用  $ti$  型船 直運航線使用  $tj$  型船情況下總航運成本與總存貨成本雙目標最小化的柏拉圖最佳解。經比較集貨航線、直運航線使用各型船之柏拉圖最佳解，即可求得採直接運送之柏拉圖最佳解，並同時決定三航線在不同存貨成本( $TTC2$ )水準下的最適船型與頻次。



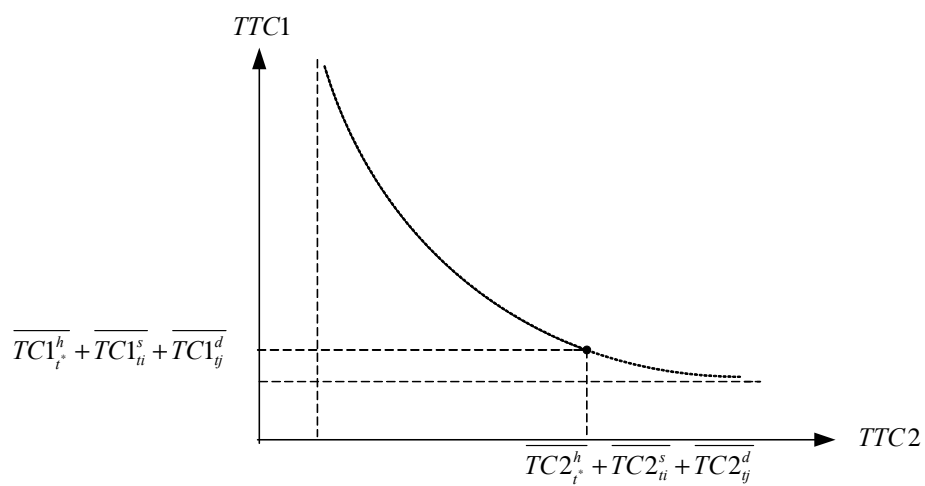


圖 4.5 採直接運送在集貨航線使用  $ti$  型船、直運航線使用  $tj$  型船時的柏拉圖最佳解

## 第五章 貨櫃轉運路線決策分析

在此考慮一航商經營遠東至北美西岸的越太平洋航線，該航商在遠東地區以高雄、香港為軸心港，在北美西岸以奧克蘭、洛杉磯為軸心港。遠東地區的泰國、菲律賓與越南三地分別以曼谷港、馬尼拉港與胡志明市港為集貨港，貨物透過集貨航線運至軸心港高雄轉運。在此探討此三地貨物是否應另開闢直運航線，直接運送至北美西岸的軸心港奧克蘭與洛杉磯。主航線與三地區的集貨航線、直運航線如圖 5.1 所示。

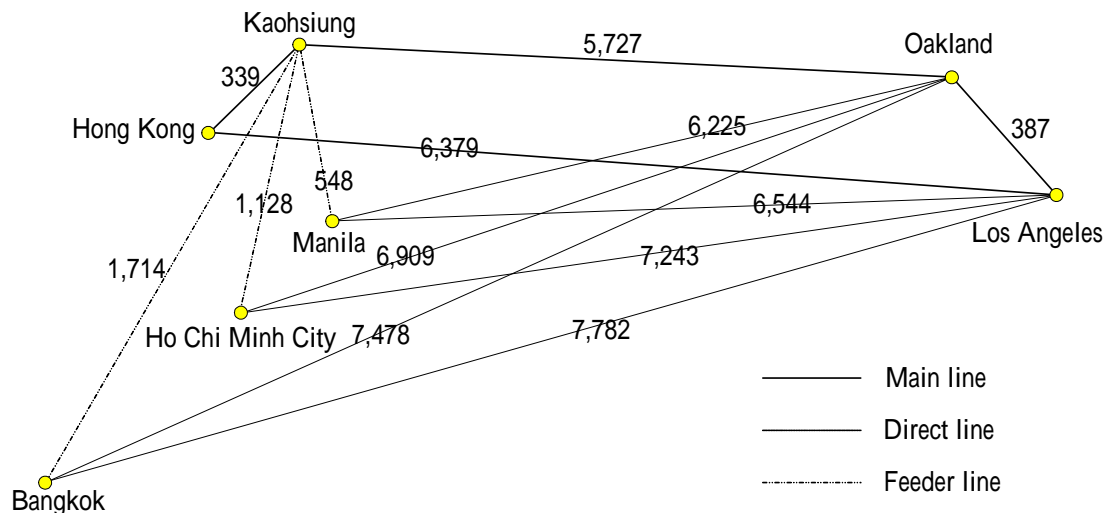


圖 5.1 多集貨港範例之航運網路圖

假設航商可用之貨櫃船船型有六種，考慮目前長榮海運公司使用中的船型，分別以  $T_i$  ( $i = 1 \sim 6$ ) 表示由小至大的船型，各型貨櫃船的船舶容量( $U_i$ )、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 5-1 所示。各型船在港口的港灣費用固定部份( $_{it}$ )、變動部份( $_{it}$ )與單位貨櫃處理成本( $G_i$ )如表 5-2 所示，由於各港港埠相關參數之差異不影響路線決策結果，為凸顯模式之主要關係，在此範例暫不考慮港埠差異，假設各港港埠相關參數相同，且以各型船在高雄港之費率計

算。各港口間的貨物載運量如表 5-3 所示，假設該航商載運量在各起迄貨物流量之佔有率為 15%，而各港口間的起迄貨物流量依 2001 年世界貨櫃運輸結構預測表(交通部運輸研究所(1999)<sup>[12]</sup>)以及高雄港與菲律賓、越南、泰國間的貨物流量(交通部統計處(2003)<sup>[13]</sup>)概估。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，分別為 1680TEU/日(70TEU/時)與 0.125 日(3 小時)，貨物時間價值( $H$ )則參考相關資料假設為每 TEU 貨櫃 30 美元/日。

**表 5-1 各型船之船舶相關參數值**

船 型	T1	T2	T3	T4	T5	T6
船舶容量 $U_i$ (TEU)	1,164	1,810	2,728	3,428	4,211	5,652
服務航速 $V_i$ (浬/日)	448.8	504.0	492.0	496.8	600.0	600.0
每日船舶時間成本 $S_i$ (美元) <sup>1</sup>	21,289	21,940	22,865	23,571	24,360	25,813
單位距離燃油成本 $F_i$ (美元/浬) <sup>1</sup>	13.65	15.51	20.81	24.32	23.57	29.89
進港燃油成本 $B_{it}$ (美元/次) <sup>2</sup>	68.23	77.62	104.05	121.59	117.84	149.44

註：1. 依據王鴻仁(1998)<sup>[14]</sup>之資料估算。

2. 假設各港相同且為單位距離燃油成本的五倍。

**表 5-2 各型船之港埠相關參數值**

船 型	T1	T2	T3	T4	T5	T6
港灣費用固定部份 $\alpha_{it}$ (美元/次) <sup>1</sup>	2,832	3,377	3,497	3,859	3,987	4,241
港灣費用變動部份 $\beta_{it}$ (美元/日) <sup>1</sup>	1,374	2,151	2,151	2,868	2,868	4,302
單位貨櫃處理成本 $G_i$ (美元/TEU) <sup>1</sup>	53	53	53	53	53	53

註：依據「高雄港港埠業務費費率表」(高雄港務局(2002)<sup>[15]</sup>)計算。

表 5-3 各港口間貨物載運量

單位：TEU/季

迄 起	高雄	奧克蘭	洛杉磯	香港	馬尼拉	胡志明市	曼谷
高雄		6,807	18,693	0	3,527	1,785	7,413
奧克蘭	4,565		0	6,227	481	440	1,832
洛杉磯	12,535	0		17,098	1,319	1,210	5,031
香港	2,267	9,570	26,280		0	0	0
馬尼拉	3,829	2,533	6,955	0		0	0
胡志明市	1,080	1,101	3,024	0	0		0
曼谷	12,488	8,559	23,503	0	0	0	

## 5.1 最適船型與頻次求解

任一航線的航運成本與存貨成本雙目標最小化之柏拉圖最佳解可透過成本關係曲線的推導與各型船可行解的比較而求得，並同時決定該航線的最適船型與頻次。在此以數學軟體 Mathematica 4.0 撰寫程式，並以主航線為例，當所有集貨航線貨物均經軸心港轉運時，雙目標最小化的柏拉圖最佳解數學式如下：

$$TC1^h = \begin{cases} 2.215 * 10^7 + \frac{5.598 * 10^{14}}{TC2^h - 5.090 * 10^7} & \text{for } 5.090 * 10^7 < TC2^h \leq 7.675 * 10^7, \\ 2.270 * 10^7 + \frac{6.347 * 10^{14}}{TC2^h - 5.090 * 10^7} & \text{for } 8.098 * 10^7 \leq TC2^h \leq 8.560 * 10^7. \end{cases} \quad .. (5.1)$$

如圖 5.2 中的實線所示，柏拉圖最佳解的曲線包含 T5 型船的整條成本關係曲線，以及 T6 型船在存貨成本值高於  $8.098 * 10^7$  美元之部份成本關係曲線，當使用 T5 型船時頻次從每週 1.95 班至無限多班，當使用 T6 型船時頻次從每週 1.46 至 1.68 班。曲線愈往右下方的航運成本愈低、存貨成本愈高，因此，航商面對柏拉圖最佳解曲線上無數個航運成本與存貨成本組合時，若無存貨成本限制以使用 T6 型船的航運成本較低，若存貨成本要求須小於  $8.098 * 10^7$  美元時，則以使用存貨成本較低的 T5 型船較佳。

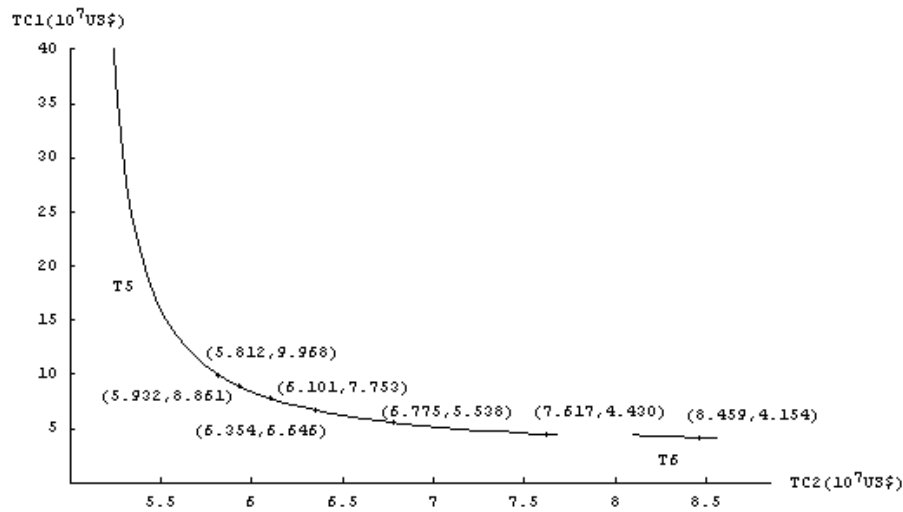


圖 5.2 主航線在所有貨物均轉運時的柏拉圖最佳解與實務可行解

進一步考慮在實務上航商安排的運送頻次大多提供兩週一班以上的航運服務，則主航線實際上可選擇的船型與頻次如表 5-4 所示。表 5-4 顯示出航商提供兩週一班至每日一班服務時的最適船型、航運成本、存貨成本與替代率。當航商提供每週一班、每月三班或兩週一班(每週航次=1, 0.75, or 0.5)之航運服務，因最大船型仍無法將有貨物運完而不可行，其航運成本最低的選擇是以最大的 T6 型船提供兩週三班(每週航次=1.5)的航運服務，此時航運成本為  $4.154 \times 10^7$  美元，存貨成本為  $8.459 \times 10^7$  美元，若航商傾向安排每週二班、三班或更高頻次服務，此時則以較小的 T5 型船為最適船型。邊際替代率可表示航商決策時對兩目標的權重比值。此一替代率的絕對值愈低，表示對其服務水準愈重視。當航商愈重視服務水準，決策將傾向選擇替代率絕對值愈低的最佳解；反之，當航商愈重視其負擔的航運成本，則傾向選擇替代率絕對值愈高的最佳解。

表 5-4 主航線在所有貨物均轉運時的實際可行之航運服務

每週航次	最適船型	航運成本值 (美元)	存貨成本值 (美元)	邊際替代率
0.5	不可行	-	-	-
0.75	不可行	-	-	-
1	不可行	-	-	-
1.5	T6	$4.154 \times 10^7$	$8.459 \times 10^7$	-1.7882
2	T5	$4.430 \times 10^7$	$7.617 \times 10^7$	-1.1410
3	T5	$5.538 \times 10^7$	$6.775 \times 10^7$	-0.5070
4	T5	$6.646 \times 10^7$	$6.354 \times 10^7$	-0.2851
5	T5	$7.753 \times 10^7$	$6.101 \times 10^7$	-0.1825
6	T5	$8.861 \times 10^7$	$5.932 \times 10^7$	-0.1267
7	T5	$9.968 \times 10^7$	$5.812 \times 10^7$	-0.0931

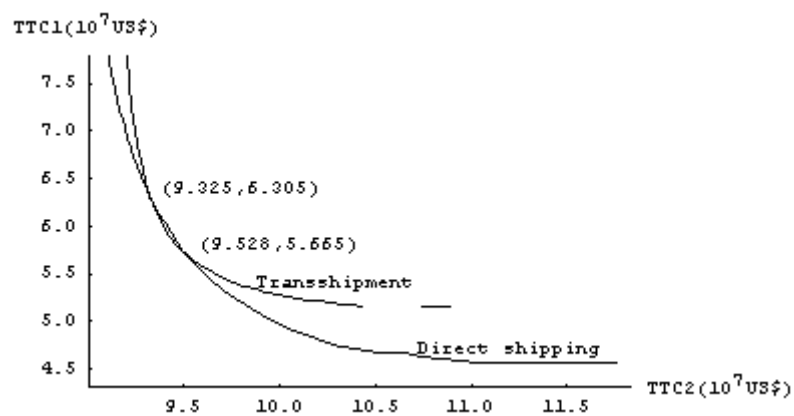
## 5.2 路線決策分析

任一集貨區貨物是否經高雄港轉運，抑或採直接運送，可以運用構建的路線決策模式，求得直接運送與轉運兩方案的柏拉圖最佳解，決定在不同存貨成本水準下的最佳運送路線、各航線船型與頻次。在此同樣以數學軟體 Mathematica 4.0 撰寫程式，分別分析泰國、菲律賓與越南地區貨物是否改採直接運送。求得三地區貨物在另兩地區貨物採轉運之情境下經軸心港高雄轉運或採直接運送時的柏拉圖最佳解如圖 5.3(a)~(c)，以及三地區貨物在不同航運成本值( $TTC1$ )與存貨成本值( $TTC2$ )的最適路線、各航線船型與頻次如表 5-5(a)~(c)。

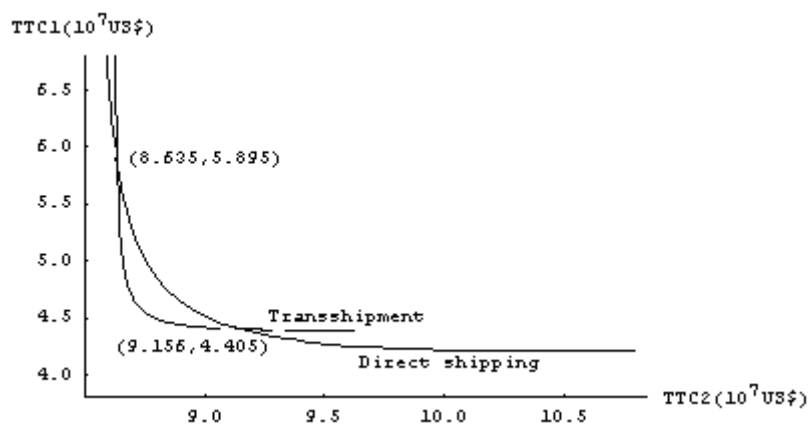
圖 5.3(a)中兩曲線顯示泰國地區貨物的兩運送方案柏拉圖最佳解曲線，由圖中兩曲線相交於  $(9.325 \times 10^7, 6.305 \times 10^7)$  與  $(9.528 \times 10^7, 5.665 \times 10^7)$  兩點，顯示當總存貨成本值介於  $9.325 \times 10^7$  與  $9.528 \times 10^7$  美元時採轉運較佳，而當總存貨成本值要求須低於  $9.325 \times 10^7$  美元或高於  $9.528 \times 10^7$  美元時則採直接運送較佳。圖 5.3(b)與 5.3(c)分別顯示菲律賓

與越南地區貨物的兩運送方案柏拉圖最佳解，同樣的兩圖中兩運送方案柏拉圖最佳解曲線亦相交於兩點，顯示當總存貨成本值介於兩點之間採轉運較佳，而在兩點之外則採直接運送較佳。惟圖 5.3(a)中兩交點間的區域極小，可知在路線決策方面，泰國地區貨物較傾向採直接運送，而菲律賓、越南地區貨物較傾向轉運。三地區路線決策之差異主要導因於各地區貨物載運量大小不同、航程長短與集貨港區位互異。三地區中貨物載運量以泰國最大、菲律賓其次、越南最小，集貨航線航程以泰國最遠、越南其次、菲律賓最近，顯示當貨物載運量大、與軸心港間距離遠時決策傾向採直接運送，反之則採轉運。

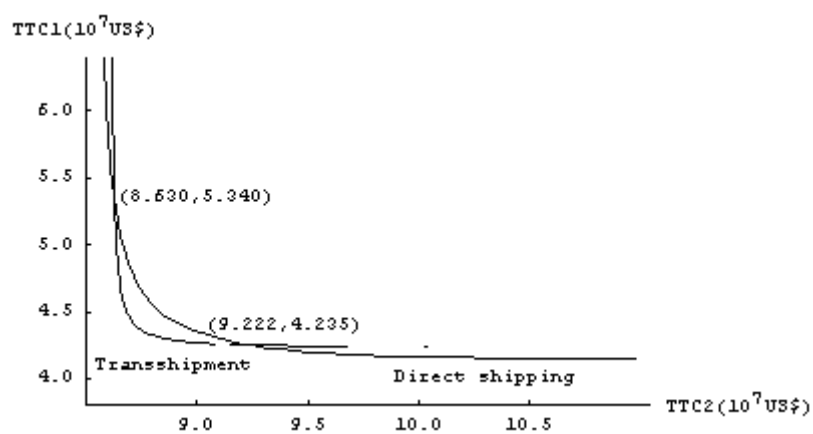
目前航運市場上經營越太平洋航線的長榮海運、東方海外公司(OOCL)、美國總統輪船公司(APL)、快桅輪船公司(Maersk Sealand)等主要航商在菲律賓與越南地區均採轉運方式營經，而在泰國地區則是長榮、美國總統輪船公司(APL)採轉運，而東方海外公司(OOCL)、快桅輪船公司(Maersk Sealand)採主航線直接靠泊方式，顯示目前航運市場上亦是菲律賓、越南地區貨物傾向採轉運，泰國地區貨物較傾向採直接運送，本範例之路線決策結果與目前航運市場上之航線安排現況相符合。



(a) 泰國地區



(b) 菲律賓地區



(c) 越南地區

圖 5.3 三地區貨物轉運與直接運送之柏拉圖最佳解



**表 5-5(a) 泰國地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線  
船型與頻次**

總航運成本值 (10 <sup>7</sup> 美元)	總存貨成本值 (10 <sup>7</sup> 美元)	運送 路線	主航線		直運航線		集貨航線	
			船 型	每週航次	船 型	每週航次	船 型	每週航次
6.305 ~ ∞	8.739 ~ 9.325	直接 運送	T6	1.02	T5	1.43 ~ ∞	T5	1.92 ~ ∞
5.665 ~ 6.305	9.325 ~ 9.528	轉運	T6	1.46	-	-	T5	2.47 ~ 4.57
5.030 ~ 5.665	9.528 ~ 9.940	直接 運送	T6	1.02	T5	0.70 ~ 1.06	T5	0.94 ~ 1.42
4.740 ~ 5.030	9.940 ~ 10.306				T5	0.54 ~ 0.71	T2	0.75 ~ 0.99
4.664 ~ 4.740	10.306 ~ 10.525				T5	0.47 ~ 0.52	T6	0.60 ~ 0.65
4.628 ~ 4.664	10.525 ~ 10.741				T6	0.42 ~ 0.44	T5	0.62 ~ 0.65
4.552 ~ 4.628	10.741 ~ 11.762				T6	0.36 ~ 0.40	T6	0.49 ~ 0.54

**表 5-5(b) 菲律賓地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線船型與頻次**

總航運成本值 ( $10^7$ 美元)	總存貨成本值 ( $10^7$ 美元)	運送 路線	主航線		直運航線		集貨航線	
			船型	每週航次	船型	每週航次	船型	每週航次
5.895 ~ $\infty$	8.506 ~ 8.635	直接 運送	T6	1.33	T5	1.33 ~ $\infty$	T5	3.33 ~ $\infty$
4.659 ~ 5.895	8.635 ~ 8.707	轉運	T6	1.46	-	-	T5	2.74 ~ 4.26
4.407 ~ 4.659	8.707 ~ 9.131						T2	0.57 ~ 3.08
4.405 ~ 4.407	9.131 ~ 9.156						T3	0.46 ~ 0.49
4.270 ~ 4.405	9.156 ~ 9.506	直接 運送	T6	1.33	T5	0.17 ~ 0.26	T2	0.45 ~ 0.69
4.260 ~ 4.270	9.506 ~ 9.550				T5	0.16 ~ 0.17	T1	0.43 ~ 0.45
4.252 ~ 4.260	9.550 ~ 9.589				T5	0.16 ~ 0.16	T2	0.41 ~ 0.43
4.244 ~ 4.252	9.589 ~ 9.661				T5	0.15 ~ 0.16	T3	0.37 ~ 0.39
4.240 ~ 4.244	9.661 ~ 9.681				T5	0.15 ~ 0.15	T5	0.37 ~ 0.37
4.238 ~ 4.240	9.681 ~ 9.810				T6	0.13 ~ 0.13	T1	0.36 ~ 0.37
4.225 ~ 4.238	9.810 ~ 9.897				T6	0.12 ~ 0.13	T2	0.34 ~ 0.36
4.217 ~ 4.225	9.897 ~ 9.998				T6	0.11 ~ 0.12	T3	0.30 ~ 0.32
4.212 ~ 4.217	9.998 ~ 10.789				T6	0.11 ~ 0.11	T5	0.29 ~ 0.30

**表 5-5(c) 越南地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線  
船型與頻次**

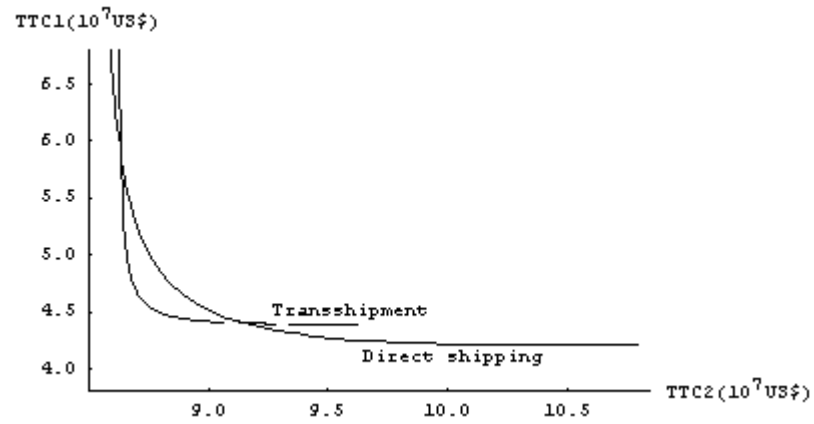
總航運成本值 (10 <sup>7</sup> 美元)	總存貨成本值 (10 <sup>7</sup> 美元)	運送 路線	主航線		直運航線		集貨航線	
			船 型	每週航次	船 型	每週航次	船 型	每週航次
5.340 ~ ∞	8.525 ~ 8.630	直接 運送	T6	1.40	T5	0.80 ~ ∞	T5	1.35 ~ ∞
4.439 ~ 5.340	8.630 ~ 8.707	轉運	T6	1.46	-	-	T5	1.07 ~ 5.55
4.258 ~ 4.439	8.707 ~ 9.151						T2	0.22 ~ 1.18
4.235 ~ 4.258	9.151 ~ 9.222						T3	0.17 ~ 0.19
4.180 ~ 4.235	9.222 ~ 9.672	直接 運送	T6	1.40	T5	0.07 ~ 0.11	T2	0.13 ~ 0.19
4.170 ~ 4.180	9.672 ~ 9.816				T5	0.07 ~ 0.07	T5	0.11 ~ 0.12
4.167 ~ 4.170	9.816 ~ 9.909				T5	0.06 ~ 0.06	T6	0.10 ~ 0.10
4.161 ~ 4.167	9.909 ~ 10.108				T6	0.05 ~ 0.06	T2	0.10 ~ 0.11
4.158 ~ 4.161	10.108 ~ 10.183				T6	0.05 ~ 0.05	T5	0.09 ~ 0.09
4.154 ~ 4.158	10.183 ~ 10.978				T6	0.05 ~ 0.05	T6	0.08 ~ 0.08

表 5-5 顯示三地區貨物在各存貨成本值的運送路線，以及各航線最適船型與頻次。由表中各航線最適船型多為航速較快的 T5、T6 與 T2 船型，航速較慢的 T1、T3 與 T4 船型或未出現表中或成為柏拉圖最佳解的區域不大，顯示船型決策傾向採用航速較快的船型。又由表中航程較長的直運航線最適船型為較大的 T5 或 T6 船型，航程較短的集貨航線最適船型包括 T1、T2、T3、T5 與 T6 等五船型，可知當航程較長時船型決策傾向採用較大型船。此外，比較三直運航線最適船型為較大船型 T6 之柏拉圖最佳解區域，可知當貨物載運量增加時，最適船型為較大船型的區域擴大，決策較傾向採用大型船。不過，三直運航線的貨物載運量不大，當最適船型為 T6 時的每週航班均低於二週一班 (0.5 班/週)，因此雖是柏拉圖最佳解，但實務上不可行。接下來將特別針對貨物載運量與集貨港區位在決策中的影響做分析，並就軸心港發展轉運業務之費率與效率策略、實務上頻次為離散值之決策做探討。

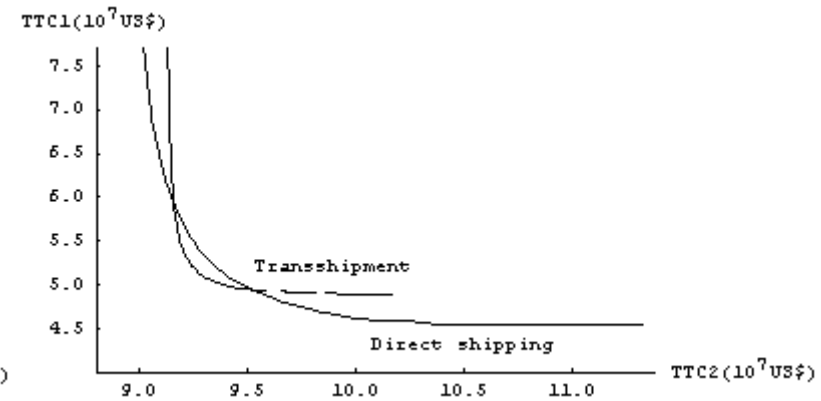
### 1. 貨物載運量之影響

本研究構建的成本函數為載運量相依的成本函數，可反應流量規模經濟性。即不論是主航線、集貨航線或直運航線，任一航線均具有單位貨櫃航運成本隨載運量增加而下降的效益，此一規模經濟性使得載運量大小影響路線決策。當集貨港與目的港間貨物載運量增加，若採直接運送方案，直運航線的載運量增加，若採轉運方案，主航線與集貨航線的載運量均增加，此三航線的載運量增量相同，但邊際航運成本因航線載運量大小而互異。當直運航線載運量小時，其邊際航運成本較大，當直運航線載運量增大，其邊際航運成本漸減，當直運航線載運量大於某一水準後，路線選擇會傾向採直接運送。

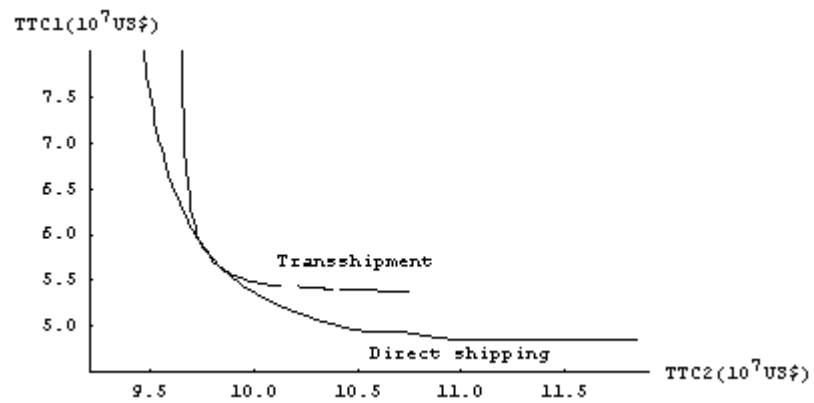
在此以菲律賓地區貨物載運量多寡為例做說明：在泰國地區貨物採直接運送之情境下，考慮菲律賓與台灣之間的區內貨物載運量維持不變，而菲律賓與北美西岸間的載運量為目前載運量與增為 2~4 倍四種情境，將得到各情境的轉運與直接運送之柏拉圖最佳解曲線如圖 5.4(a)-(d)。



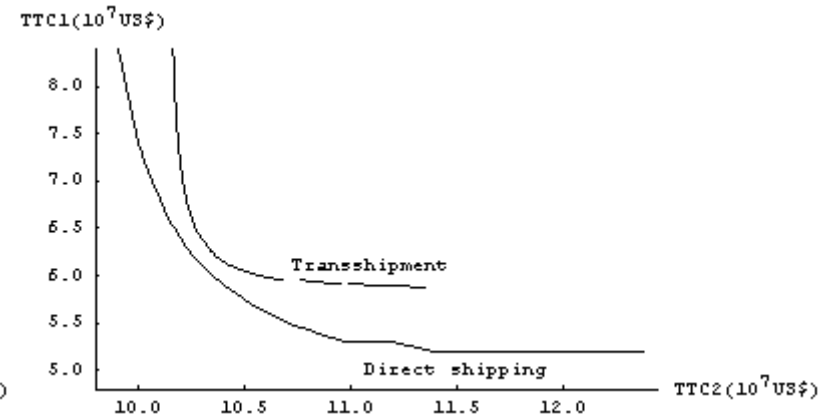
(a) 目前載運量



(b) 載運量增為 2 倍



(c) 載運量增為 3 倍



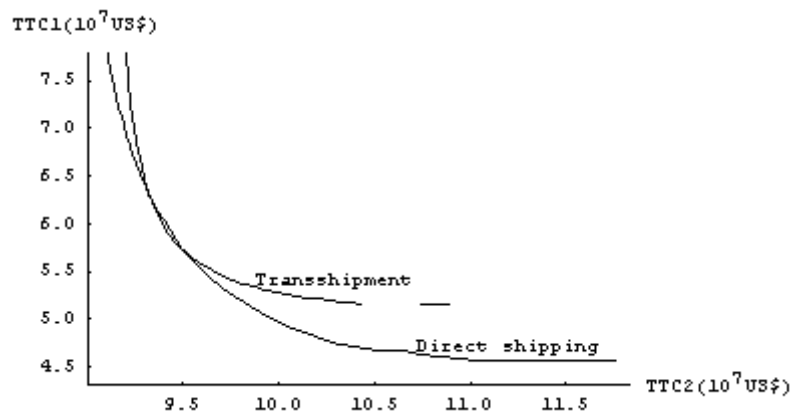
(d) 載運量增為 4 倍

圖 5.4 集貨區與目的港間載運量對路線決策之影響

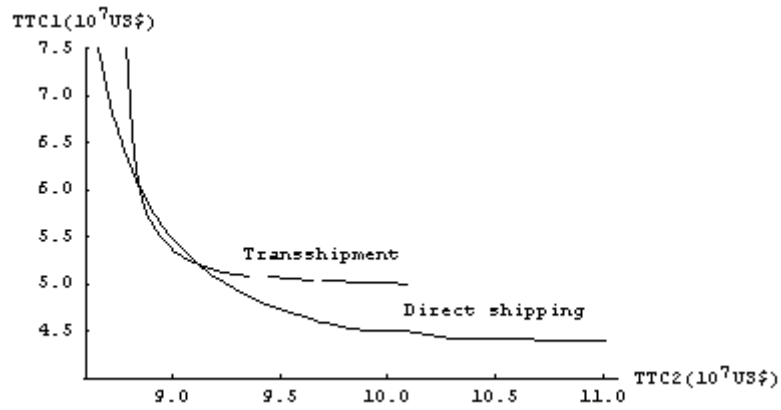
圖 5.4 顯示：隨著菲律賓與北美西岸間的貨物載運量增加，直接運送之柏拉圖最佳解曲線較接近原點之區域擴大，而轉運之柏拉圖最佳解曲線較接近原點之區域減少，當載運量增為 4 倍(圖 5.4(d))時，轉運之柏拉圖最佳解曲線完全在直接運送之柏拉圖最佳解曲線的右上方，則無論總存貨成本值高低，均以直接運送較佳，顯示隨著集貨區與目的港間的貨物載運量增加，將使路線決策傾向採直接運送。

## 2.集貨港區位之影響

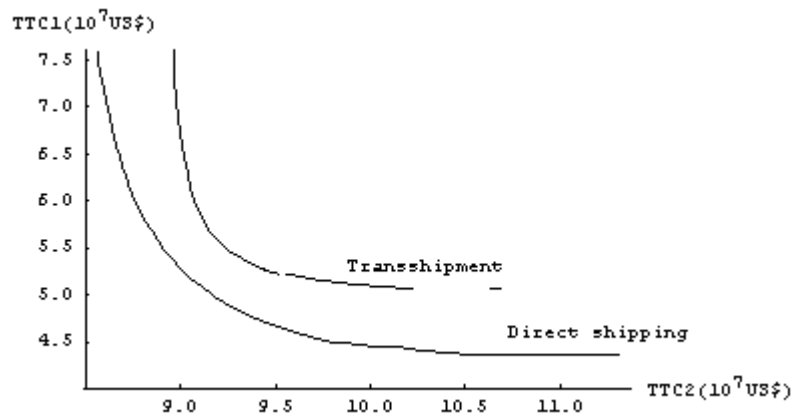
集貨港區位亦是影響路線決策的因素之一，以高雄港為例，越太平洋航線的轉運櫃源主要為東南亞與中國大陸華南地區，而東北亞或中國大陸華北、東北地區貨櫃若運至高雄港轉運須增加極長航程，可行性不大。圖 5.5(b)(c)分別顯示當菲律賓、中國東北地區(大連港)兩地區的起迄載運量等於泰國地區起迄載運量時的路線決策圖，與泰國地區的路線決策圖(圖 5.5(a))相較，可知若三地起迄載運量相當，菲律賓地區貨櫃選擇轉運的區域較泰國略大，路線決策較傾向轉運，而中國東北地區貨櫃的路線決策則傾向採直接運送，顯示集貨港區位確影響路線決策。



(a) 泰國地區



(b) 菲律賓地區



(c) 中國東北地區(大連港)

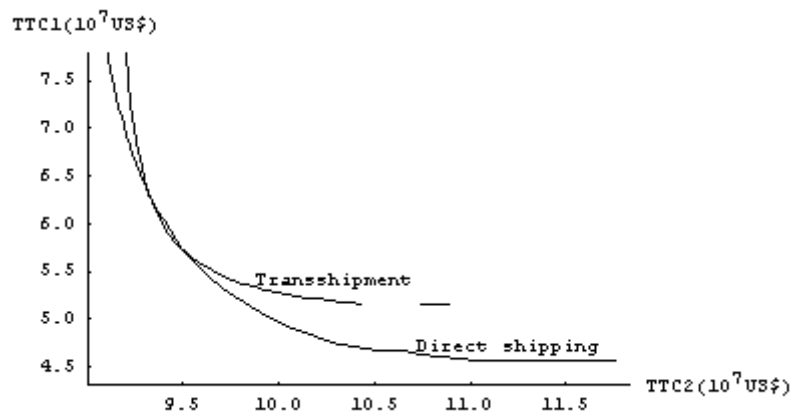
圖 5.5 集貨港區位對路線決策之影響

### 3.軸心港費率與效率之影響

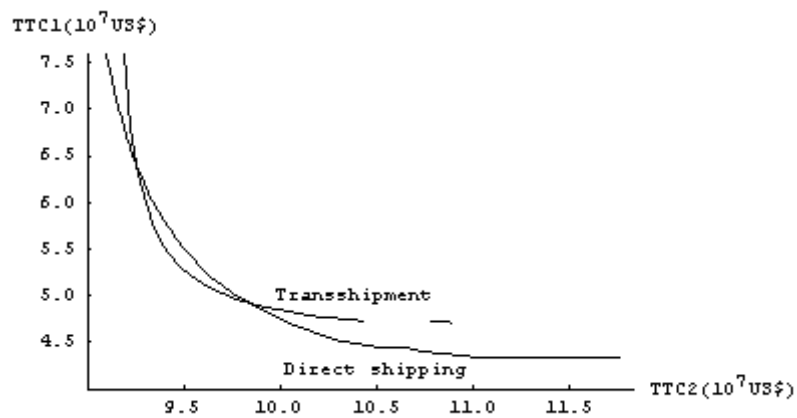
軸心港的費率與效率亦是影響路線決策的因素之一，軸心港的港務當局可採用降低費率或提高作業效率策略吸引貨物轉運，且對於不同路線可以採取差別訂價。例如範例中菲律賓與越南地區貨物在目前費率下傾向經高雄港轉運，惟泰國地區貨物傾向採直接運送，若高雄港務局給予泰國地區轉運櫃費率折扣，將有助吸引該地貨櫃經高雄港轉運。圖 5.6(a)(b)分別顯示在目前費率與高雄港費率打五折時泰國地區貨物的運送路線決策圖，相較之下可知當費率下降時選擇轉運的區域擴大，決策傾向採轉運。此外，圖 5.6(c)顯示當高雄港的裝卸效率提高為每小時 140 TEU、平均等待時間降低為 1 小時之情境，此時選擇轉運的區域亦擴大，決策傾向轉運。

效率提高與費率下降的效果不同。對港務當局而言，降低費率是最直接的手段，透過減收貨櫃船灣靠港口的港灣費用或貨櫃裝卸費用等方式，將使貨櫃在軸心港的港埠成本下降，促使轉運的相對航運成本下降。如南韓釜山港近幾年即採低價策略，以吸引中國大陸東北地區的貨櫃經釜山港轉運，此一策略確實有效，不但使釜山港的貨櫃裝卸量大增，且使釜山港成為東北亞最重要的轉運港。提高作業效率係透過降低貨櫃與船舶在軸心港轉運的時間，以降低存貨成本，並由船舶時間成本的減少同時降低航運成本，惟提高作業效率，必須透過改善港埠硬體設施或採用管理手段以達成目的。如高雄港務局的貨櫃碼頭係出租給航商或貨櫃裝卸公司負責營運，民營公司將本求利，作業效率自然提高，則此一策略具有提升作業效率之功能。

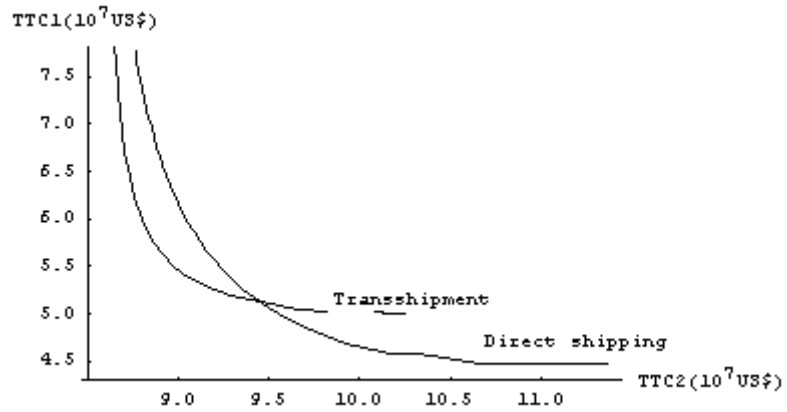




(a) 目前情境



(b) 費率減半



(c) 效率提高

圖 5.6 高雄港費率與效率變動對路線決策之影響

### 5.3 強化高雄港貨櫃轉運競爭力之策略研擬

由以上分析得知，貨物流量變動對決策將產生影響，當一集貨區至目的港的貨量增加時，貨物傾向採直接運送，此結果顯示當地區貨量小時，採軸輻系統，當地港口為集貨港較佳，而當貨量增大至足以安排直運航線時，港口提升遠洋航線貨櫃船直接靠泊的直靠港。而由軸心港費率下降或作業效率提升有吸引貨物轉運、集貨港區位影響路線決策可知，要成為一個軸心港，除貨量足夠外，港口地理位置要好、港埠費率要低、作業效率要高，此外，港口必定要有充裕的能量以容納轉運櫃，且碼頭與航道水深必須足以靠泊大型貨櫃母船。可推論：當集貨港與目的港間貨物流量增加有利於直接運送，而貨物轉運所增加的航程愈短愈傾向經軸心港轉運。推測未來隨中國貨量的快速成長，亞太軸輻網路中的路線安排隨貨量增加將更傾向採直接運送。高雄港面對上海港與中國沿海港埠的發展，在環境上的挑戰將會愈來愈艱困。

為維持高雄港的既有競爭力，保持高雄港為遠洋航線直靠港之地位，避免變成集貨港。在此針對擴大貨源、降低港埠費率與提高服務水準、開放兩岸合作、改善碼頭設施等方面，提出下列強化高雄港貨櫃轉運競爭力之策略。

#### 1.擴大貨源策略

積極推動擴大貨源之相關措施，包括物流作業、加工再出口作業及自由貿易港區計畫。例如：結合國內製設業之能力與便捷之海運，以發展加工再出口型產業。設法取得貨櫃中心鄰近之土地，開發作為自由貿易港區，提供給跨國企業設置東亞的集貨、發貨物流中心或加工出口中心。

#### 2.降低費率、提高服務水準策略

持續研擬降低航商使用成本及提高服務水準之措施，吸引航商以高雄港為軸心港。例如：調降貨櫃碼頭租金、降低各項港灣費用、

棧埠費用。為吸引轉運櫃量，可對轉運櫃提供優惠費率或補貼，甚至按不同地區採不同費率之差別定價。

### **3.開放兩岸合作策略**

爭取開闢境外航運中心兩岸航線，以增加中國貨櫃至高雄港轉運之機會，擴大轉運櫃的來源地。例如：吸引中國華北、華中地區至歐洲的貨櫃，以及華南地區至美洲的貨櫃到高雄港轉運。在不影響國家安全情況下，可考量引進大陸航商在臺租賃貨櫃碼頭。

### **4.改善碼頭設施策略**

改善碼頭及跨港隧道航道水深不足問題，以容納大型貨櫃船靠泊。

## 第六章 結論與建議

本研究的研究目的與問題重新簡述如下。

### 1. 研究問題：

隨著中國經貿的快速發展，不僅中國的上海港與深圳港分別躍居世界第二、四大貨櫃港，中國其他港埠的成長亦極為驚人，例如青島、寧波、天津、廣州與廈門等港口的貨櫃裝卸量高達 20% 以上。不僅中國沿海港口貨櫃量大增，亞太地區的軸輻網路亦隨中國經貿發展而改變。未來亞太地區航運網路的轉變，以及中國上海港與其他港埠發展可能對臺灣高雄港貨櫃運輸之影響，是所有航商、港埠經營者或貨櫃場站業者等人所一致關心的課題，在此嘗試探討此一課題。

### 2. 研究目的：

- (1) 分析西太平洋貨櫃航線的配置情形，了解目前上海港與高雄港的發展現況，以做為研究之基礎。
- (2) 提出路線決策模式，據以推論貨櫃轉運路線之可能決策。
- (3) 研擬強化高雄港競爭力之策略。

本研究的具體結論與建議說明如下。

### 6.1 結論

目前亞太地區軸輻系統主要以香港、上海、深圳、釜山、高雄與新加坡等港口為軸心港。隨著中國經貿的快速發展，不僅中國的上海港與深圳港分別躍居世界第二、四大貨櫃港，中國其他港埠的成長亦極為驚人，例如青島、寧波、天津、廣州與廈門等港口的貨櫃裝卸量高達 20% 以上。不僅中國沿海港口貨櫃量大增，亞太地區的軸輻網路亦隨中國經貿發展而改變，愈來愈多的遠洋航線直接靠泊中國港口，而且這些快速成長的港口對於目前軸心港地位有取而代之態勢。

本研究構建一路線決策模式，以模式進行路線、船型與頻次決策分析，得到下列推論：由貨物流量變動對決策的影響得知，當一集貨區至目的港的貨量增加時，貨物傾向採直接運送，此結果顯示當地區貨量小時，採軸輻系統，當地港口為集貨港較佳，而當貨量增大至足以安排直運航線時，港口提升遠洋航線貨櫃船直接靠泊的直靠港。而由軸心港費率下降或作業效率提升有吸引貨物轉運、集貨港區位影響路線決策可知，要成為一個軸心港，除貨量足夠外，港口地理位置要好、港埠費率要低、作業效率要高，此外，港口必定要有充裕的能量以容納轉運櫃，且碼頭與航道水深必須足以靠泊大型貨櫃母船。

由模式推論可知：當集貨港與目的港間貨物流量增加有利於直接運送，而貨物轉運所增加的航程愈短愈傾向經軸心港轉運。推測未來隨中國貨量的快速成長，亞太軸輻網路中的路線安排隨貨量增加將更傾向採直接運送。若臺灣政府能全力推動其自由貿易港區計畫，吸引廠商投資以增加貨櫃量，保持目前高雄港在貨量上的優勢，並配套以低轉運費率等策略，應仍能保有其軸心港地位，否則高雄有可能在短期內轉為遠洋航線直靠港，甚至變成集貨港。

## 6.2 建議

1. 本研究構建的模式除進行路線決策分析外，亦可應用以處理實務上各種船型與頻次決策問題。例如分析各型貨櫃船的潛在市場，探討高速貨櫃船投入營運的經濟性，以提供航商調整船隊規模與組成，或提供造船廠做為建造設計船型之參考。
2. 本研究以解析性方法在二維目標值空間上決定雙目標最小化的柏拉圖最佳解，並分析決策隨主要因素變動之情形，當欲探討的問題較複雜、有過多的限制條件而無法以解析性方法分析時，可改為建立數學規劃模式求解。

### **6.3 成果效益與應用情形**

1. 本研究之研究成果業已整理成學術論文，發表在 97 年運輸年會的本所成果發表會上，提供學術研究單位參考引用。
2. 在施政上，本研究結果可提供大部與港務局在研擬貨櫃運輸政策、港埠發展政策之參考。
3. 在實務上，本研究結果將提供貨櫃航商及相關業者在營運上之參考。

## 參考文獻

- [1] Drewry Shipping Consultants, **Annual Container Market Review & Forecast 2004/05**, Drewry Shipping Consultants Ltd., London, 2004.
- [2] Hsu, C. I. and Hsieh, Y. P., “Routing, ship size, and sailing frequency decision-making for a maritime hub-and-spoke container network”, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 45, Issues 7-8, 2007, pp. 899-916.
- [3] 戴輝煌、徐文華,「船舶大型化對我國港口競爭態勢之影響」, 2008 臺灣港埠因應航運發展趨勢研討會, 2008 年。
- [4] Drewry, *Container Insight*, Dec., 07 & Feb., 08, 2007.
- [5] **Containerization International YearBook**, Emap Business Communications Ltd., London, England, 1997~2007.
- [6] ISL, **Shipping Statistics & Market Review (SSMR)**, Issued by Institute of Shipping Economics and logistics, Bremen, 2002~2007.
- [7] 朱金元等, 高雄港貨櫃碼頭設施合理配置及營運改善策略之研究, 初版, 交通部運輸研究所印, 臺北市, 2008 年。
- [8] 朱金元、王克尹、謝幼屏, 航運及鄰近港埠發展對臺灣地區港埠之影響研究(1/2), 初版, 交通部運輸研究所印, 臺北市, 2008 年。
- [9] 交通部高雄港務局網站: <http://www.khb.gov.tw>。
- [10] 交通部高雄港務局, 高雄港統計年報, 交通部高雄港務局印, 2004~2008。
- [11] Cohon, J. L. **Multiobjective Programming and Planning**, Academic Press, New York, 1978.
- [12] 交通部運輸研究所, 台灣地區海運運量預測專題報告, 交通部運輸研究所印, 1999 年。

- [13] 交通部統計處，中華民國九十一年交通統計要覽，交通部統計處印，2003 年。
- [14] 王鴻仁，「以高雄港為中心之貨櫃轉運航線分析」，國立臺灣海洋大學航運管理學系，碩士論文，1998 年。
- [15] 交通部高雄港務局，高雄港港埠業務費費率表，三版，交通部高雄港務局印，2002 年。