

國立交通大學

運輸科技與管理學系

博士論文

軸輻貨櫃海運網路之路線、船型與頻次決策研究
Routing, Ship Size, and Sailing Frequency Decision-Making
for a Maritime Hub-and-Spoke Container Network

The logo of National Central University (NCU) is a circular emblem with a blue border. Inside the circle, there is a stylized design featuring a book and a torch, with the year '1896' at the bottom. The logo is positioned behind the title text.

研究生：謝幼屏

指導教授：許巧鶯 教授

中華民國九十五年六月

軸輻貨櫃海運網路之路線、船型與頻次決策研究

Routing, Ship Size, and Sailing Frequency Decision-Making
for a Maritime Hub-and-Spoke Container Network

研究生：謝幼屏
指導教授：許巧鶯

Student : Yu-Ping Hsieh
Advisor : Prof. Chaug-Ing Hsu

國立交通大學
運輸科技與管理學系
博士論文

A Dissertation

Submitted to Department of Transportation Technology and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

DOCTOR OF PHILOSOPHY

in

Transportation Technology and Management

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

軸輻貨櫃海運網路之路線、船型與頻次決策研究

研究生：謝幼屏

指導教授：許巧鶯 教授

國立交通大學運輸科技與管理學系博士班

摘 要

貨櫃運送路線、船型與頻次決策是航商最重要的航運規劃課題之一，規劃結果不僅影響航商的營運效率，亦影響其提供給貨主的服務品質。由於貨櫃航運服務的同質性高，航商在競爭激烈環境中除了考慮自身航運成本，尚須同時增進服務品質以提升競爭力，才是較佳的航運規劃。基於存貨成本是影響航運服務品質的重要因素，貨主常依存貨成本直接相關的航線頻次、貨櫃運送時間來選擇航運服務，本研究提出以航運成本與存貨成本最小化之雙目標，探討軸輻海運網路下貨櫃運送之路線、船型與頻次決策。

首先，本研究以解析性方法構建航運成本函數與存貨成本函數。然後，由兩成本間的替換關係推導航運成本與存貨成本的數學關係式，在目標值空間上決定雙目標最小化之柏拉圖最佳解，可求得一航線在不同存貨成本與航運成本值之最適船型與頻次，並得到軸輻海運網路貨櫃轉運或直接運送之路線決策。此外，本研究推導出船型決策臨界點隨貨物載運量變動的數學關係式，以圖示顯示船型決策隨貨物載運量增加而傾向採用較具規模經濟性之大型船，並在目標值空間上顯示存貨成本、船舶規模經濟性與航速在決策中的影響。最後，蒐集船舶與港埠成本資料進行範例分析，以驗證理論推導結果、闡述模式實用價值。

研究結果求得一航線在不同存貨成本與航運成本水準下的最適船型與頻次，亦求得軸輻網路貨物轉運或直接運送之路線決策，並分析得到重要因素在決策中的影響。除以圖示顯示船型決策隨貨物載運量增加而傾向採用大型船外，亦分析超大型船投入營運之經濟營運載運量，驗證提高港埠效率、增長航程、減少靠港數目或降低大型船的相對成本有助於提高超大型船的航運經濟性。此外，路線決策之範例分析結果與目前航運現況相符，敏感度分析可闡述實務上貨物載運量增加有利於直接運送、軸心港費率下降或作業效率提升有吸引貨物轉運之特性。綜之，運用雙目標模式可增加航商決策之彈性，以獲得較佳的規劃結果，並可協助航商估算各航線引入超大型船之最佳時機。

關鍵字：貨櫃運輸；路線決策；船型與頻次決策；多目標分析；軸輻網路

Routing, Ship Size, and Sailing Frequency Decision-Making for a Maritime Hub-and-Spoke Container Network

Student: Yu-Ping Hsieh

Advisor: Prof. Chaug-Ing Hsu

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Decision-making on routing, ship size, and sailing frequency are important issues for container carriers when planning shipping services. The results of those decisions directly influence the operating effectiveness of container carriers and the quality of service provided to shippers. Since container carriers operate in an increasingly competitive environment, they not only aim at lowering their shipping costs, but also at enhancing their services in order to increase their competitiveness. Inventory costs related to the container shipping process are crucial factors affecting the quality of service provided to shippers. Therefore, this study formulates a two-objective model to determine the optimal routing, ship size, and sailing frequency for container carriers by minimizing shipping costs and inventory costs.

First, shipping and inventory cost functions are formulated using an analytical method. Then, based on a trade-off between shipping costs and inventory costs, Pareto optimal solutions of the two-objective model are determined in objective value space. Not only can the optimal ship size and sailing frequency be determined for any route, but also the routing decision on whether to routing containers through a hub or directly to its destination can be made. Moreover, a relationship between the optimal ship size and cargo flow is derived to show that the optimal ship tends to be large as cargo flow increases. The effects of inventory costs, economies of ship size, and service speed on routing, ship size, and sailing frequency decisions are also illustrated. Finally, case studies are made to confirm the theoretical findings and to demonstrate the usefulness of the proposed model.

The results show the optimal routing, ship size, and sailing frequency with respect to each level of inventory costs and shipping costs, and the effects of key factors on those decisions. The optimal ship tends to be large as route flow increases, and the minimum route flow that realizes scale economies for ultra large ships can be estimated. Furthermore, the economies and possibility of using ultra large ships tend to increase, as port efficiency improves, shipping distance increases, the number of ports of calls decreases, or the relative costs of large ships decrease. Besides, the results of case studies are reasonable and in accordance with the real world routing decision of current carriers. Sensitivity analysis shows that the optimal routing decision tends to be shipping the cargo directly as the flow increases, and shipping it through a hub as the hub charge is decreased or its efficiency is improved. In sum, the two-objective model can provide flexibility in the decision-making for container carriers to produce better planning alternatives. It can also guide carriers to find the optimal timing of using ultra large ships.

Key words: Container shipping; Routing decision; Ship size decision; Sailing frequency; Multi-objective analysis; Hub-and-spoke networks

誌 謝

有幸跟隨恩師許巧鶯教授，個人深感獲益良多。無論在觀念的啟迪，理論與方法的傳授，乃至於文句的斟酌上，均蒙恩師之諄諄教誨。又從恩師平時從事研究的熱忱認真，及教導學生的盡心負責中，更深切學習到做學問的態度與為人處世的方法。對於恩師多年來孜孜不倦的教導與培育，謹致上最誠摯的敬意與謝忱。

論文口試承蒙馮正民教授、黃承傳教授、吳榮貴教授與陳春益教授撥冗審查，惠賜寶貴意見，謹此深致謝忱。修業期間特別要感謝學妹慧潔在多方面的幫忙與協助；感謝美珠、佳紋、剛伯、憲弘、志青在生活上的關懷與幫忙；感謝裕弘、淑婷、清成學長在研究與課業上的協助。並感謝系上謝尚行教授、任維廉教授、王晉元教授、張隆憲教授、交研所黃承傳教授、藍武王教授、工工所劉復華教授在課業上的教導，以及系辦公室幸榮、秀蔭提供的行政支援。



能夠在職進修，特別要感謝臺灣技術研究中心邱永芳主任、張金機前所長給予進修機會；感謝朱金元科長、洪一生科長、王慶福前組長所給予鼓勵與支持，以及在工作上的體諒與幫忙；感謝港研中心第一科建明、道光、正龍、雅雯、瑞應、文傑、毓清姐等同事們的關心與照顧；感謝中華顧問工程司張徐錫先生在投稿過程給予的協助；最後更要感謝雙親在生活上的照顧與支持，讓我無後顧之憂順利完成學業，謹以此論文獻給我親愛的雙親。

謝幼屏 謹誌

中華民國 95 年 7 月

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
表目錄.....	vii
圖目錄.....	ix
符號說明.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	5
1.3 研究方法.....	6
1.4 研究內容與流程.....	7
1.5 研究範圍與限制.....	13
第二章 航運現況分析與文獻回顧.....	15
2.1 全球貨櫃航運現況分析.....	15
2.1.1 貨櫃運輸發展沿革.....	15
2.1.2 全球貨櫃海運運量.....	16
2.1.3 全球貨櫃船舶數量與能量.....	18
2.1.4 國際海運發展趨勢.....	21
2.2 存貨成本之相關文獻.....	24
2.3 一般航運規劃之相關研究.....	29
2.4 船舶規模之相關研究.....	35
2.5 軸輻網路之相關研究.....	40
2.6 綜合評析.....	46

第三章 成本函數	49
3.1 航運成本函數.....	49
3.1.1 船舶時間成本.....	49
3.1.2 船舶燃油成本.....	51
3.1.3 港埠成本.....	51
3.2 存貨成本函數.....	52
3.2.1 等待時間成本.....	52
3.2.2 航運時間成本.....	53
3.3 成本函數之特性.....	54
第四章 船型與頻次決策	56
4.1 雙目標替換關係分析.....	56
4.2 決策分析.....	59
4.3 載運量變動之影響分析.....	66
4.4 船型與頻次決策範例.....	70
4.5 超大型貨櫃船之航運經濟分析範例.....	78
4.5.1 最適船型求解.....	80
4.5.2 載運量對最適船型決策影響之分析.....	83
4.5.3 重要因素之影響分析.....	86
第五章 軸輻網路之直接與轉運路線決策	89
5.1 直接與轉運路線決策模式.....	89
5.1.1 貨物轉運時的成本關係式.....	92
5.1.2 貨物直接運送時的成本關係式.....	93
5.2 單一集貨港之路線決策分析範例.....	97
5.2.1 最適路線、船型與頻次之求解.....	98
5.2.2 載運量對路線選擇影響之分析.....	101
5.3 多集貨港之路線決策分析範例.....	102

5.3.1 最適船型與頻次求解.....	105
5.3.2 路線決策分析.....	107
第六章 結論與建議.....	120
6.1 結論.....	120
6.2 建議.....	122
參考文獻.....	124
附錄：運用模式推估亞太航運網路之可能轉變	131
作者簡歷.....	134



表目錄

表 1	全球貨櫃船舶的數量與能量.....	19
表 2	世界前 20 名貨櫃船公司排名統計.....	20
表 3	1997~2006 年世界各型貨櫃船之數量統計.....	21
表 4	存貨成本相關文獻彙整.....	28
表 5	一般航運規劃文獻彙整.....	34
表 6	船舶規模相關文獻彙整.....	39
表 7	軸心區位問題的研究發展沿革.....	42
表 8	軸輻海運網路相關文獻彙整.....	45
表 9	各型船之船舶相關參變數值.....	71
表 10	各型船之港埠相關參變數值.....	72
表 11	各港口間貨物載運量.....	72
表 12	各型船的成本關係曲線數學式、最小運送頻次點與各曲線交點.....	73
表 13	TPN 航線實際可行之航運服務.....	75
表 14	航程、靠泊港數與港埠效率之影響分析.....	77
表 15	各型船之船舶相關參變數值.....	79
表 16	各型船之港埠相關參變數值.....	79
表 17	各型船的成本關係曲線數學式與最小運送頻次點.....	80
表 18	TPN 航線實際可行之航運服務.....	82
表 19	成本關係曲線、最小單位貨櫃航運成本與最大存貨物成本隨載運 量變動表.....	84
表 20	重要因素之影響分析.....	87
表 21	各型船之船舶相關參數值.....	98
表 22	直接運送之柏拉圖最佳解的航線最適船型.....	100
表 23	各型船之船舶相關參數值.....	104

表 24	各型船之港埠相關參數值.....	104
表 25	各港口間貨物載運量.....	105
表 26	主航線在所有貨物均轉運時的實際可行之航運服務.....	107
表 27(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	110
表 27(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	111
表 27(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	112
表 28	當主航線頻次兩週三班、集貨航線與直運航線頻次為每週一班時 的柏拉圖最佳解.....	119



圖目錄

圖 1	研究流程圖	8
圖 2	研究架構圖	12
圖 3	基本的軸輻海運網路型態示意圖	14
圖 4	2004 年全球各主要區域間的貨櫃流量	17
圖 5	2008 年全球各主要區域間的貨櫃流量預測值	18
圖 6	經濟批量模式(EOQ 模式)	25
圖 7	船舶規模經濟理論	35
圖 8	定期貨櫃航線之運送路線	49
圖 9	任一 t 型船的可行解	58
圖 10	兩成本關係曲線之相對位置	61
圖 11	兩型船在小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)時的船型與 頻次決策	63
圖 12	兩型船在大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)時的船型與頻次決策	64
圖 13	任意 t 型船可行解隨總貨物載運量變動圖	67
圖 14	貨物載運量變動對船型決策之影響	69
圖 15	TPN 航線的各航段航程	71
圖 16	TPN 航線之各型船的可行解	74
圖 17	TPN 航線之柏拉圖最佳解與實務可行解	74
圖 18	貨物載運量變動對船型決策之影響	76
圖 19	TPN 航線之各型船可行解	81
圖 20	TPN 航線之柏拉圖最佳解與實務可行解	81
圖 21	T1 船之成本關係曲線隨航線載運量變動圖	84
圖 22	在不同航線載運量與存貨成本之最適船型	85
圖 23	任一 t 型船的可行解	91

圖 24	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.....	95
圖 25	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.....	96
圖 26	直接運送與轉運之各航線.....	97
圖 27	轉運之柏拉圖最佳解.....	99
圖 28	直接運送之柏拉圖最佳解.....	100
圖 29	轉運與直接運送之柏拉圖最佳解比較.....	101
圖 30	載運量增加後之兩路線柏拉圖最佳解.....	102
圖 31	多集貨港範例之航運網路圖.....	103
圖 32	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.....	106
圖 33	三地區貨物轉運與直接運送之柏拉圖最佳解.....	109
圖 34	集貨區與目的港間載運量對路線決策之影響.....	114
圖 35	集貨港區位對路線決策之影響.....	116
圖 36	高雄港費率與效率變動對路線決策之影響.....	118

符號說明

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)。

α_{it} : 一艘 t 型船進港 i 之港灣費用固定部份(美元)。

β_{it} : 一艘 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 \times TEU)。

T_{ij} : 在航線上貨櫃由港 i 至港 j 的航運時間(日)。

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

$TC2$: 一航線整季的總存貨成本(美元)。

$AC2$: 一航線之單位貨櫃存貨成本(美元/TEU)。

γ_t^{11} : 在航線上以 t 型船營運之基本單位貨櫃航運成本(美元)。

γ_t^{12} : 在航線上頻次增加一航次所增加的單位貨櫃航運成本(美元)。

γ_t^{21} : 在航線上以 t 型船營運之基本單位貨櫃存貨成本(美元)。

γ_t^{22} : 在航線上頻次增加一航次所增加的單位貨櫃存貨成本(美元)。

U_t : t 型船的船舶容量(TEU)。

f_t^{\min} : 在船舶容量限制下以 t 型船運完一季所有貨物之最小運送頻次。

$\overline{AC1}_t$: t 型船在最小運送頻次時的單位貨櫃航運成本(美元/TEU)。

$\overline{AC2}_t$: t 型船在最小運送頻次時的單位貨櫃存貨成本(美元/TEU)。

$(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$: t 型船在目標值空間上的最小運送頻次點。

$\overline{A_1A_1'}$: 在目標值空間上小型貨櫃船的成本關係曲線。

$\overline{A_2A_2'}$: 在目標值空間上大型貨櫃船的成本關係曲線。

O_1 : 在目標值空間上小型貨櫃船的最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_{t_1}, \overline{AC1}_{t_1})$ 。

O_2 : 在目標值空間上大型貨櫃船的最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_{t_2}, \overline{AC1}_{t_2})$ 。

c' : 在目標值空間上大型貨櫃船的成本關係曲線 $\overline{A_2A_2'}$ 上，單位貨櫃航運成本等於小型貨櫃船最小單位貨櫃航運成本 $(\overline{AC1}_{t_1})$ 之點。

$AC2'$: 目標值空間上 c' 點的單位貨櫃存貨成本，為船型決策臨界點 (美元)。

E : 在目標值空間上小型貨櫃船成本關係曲線 $\overline{A_1A_1'}$ 與大型貨櫃船成本關係曲線 $\overline{A_2A_2'}$ 的交點。

$AC2''$: 目標值空間上 E 點的單位貨櫃存貨成本，為船型決策臨界點 (美元)。

c'' : 在目標值空間上小型貨櫃船成本關係曲線 $\overline{A_1A_1'}$ 上，單位貨櫃航運成本等於大型貨櫃船最小單位貨櫃航運成本 $(\overline{AC1}_{t_2})$ 之點。

$AC2'''$: 目標值空間上 c'' 點的單位貨櫃存貨成本，為船型決策臨界點 (美元)。

Q : 航線的總貨物載運量， $Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ 。

D ：航線總航程， $D = \sum_{i=1}^n D_i$ 。

ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 η ：分析載運量變動影響時所做的簡化假設，均為定值，不隨靠泊港數、貨物載運量或航距改變。

m ：上標，表航線別。(h ：主航線； d ：直運線線； s ：集貨航線)

$TC1^m$ ：航線 m 整季的總航運成本(美元)。

$TC2^m$ ：航線 m 整季的總存貨成本(美元)。

$\Gamma_t^{11,m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運之基本總航運成本(美元)。

$\Gamma_t^{12,m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運之頻次增加一航次所增加的總航運成本。(美元)

$\Gamma_t^{21,m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運之基本總存貨成本(美元)。

$\Gamma_t^{22,m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運之頻次增加一航次所增加的總存貨成本(美元)。

t^* ：主航線最小航運成本值最低之船型。

$\overline{TC1_t^m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運，在最小運送頻次時的總航運成本(美元)。

$\overline{TC2_t^m}$ ：在航線 m 以 t 型船營運，在最小運送頻次時的總存貨成本(美元)。

$(\overline{TC2_t^m}, \overline{TC1_t^m})$ ：在航線 m 以 t 型船營運，在目標值空間上的最小運送頻次點。

$TTC1$ ：主航線 h 、集貨航線 s 與直運航線 d 三者的總航運成本(美元)。

$TTC2$ ：主航線 h 、集貨航線 s 與直運航線 d 三者的總存貨成本(美元)。

第一章 緒論

1.1 研究動機

軸輻網路(hub-and-spoke networks)目前在航空客運網路、航空貨運與快速運輸網路、網際網路、通訊網路等方面均大為風行。在海運上，隨著全球經濟的發展與貿易活動的熱絡，航運市場日趨繁榮，從事遠洋業務的定期貨櫃船公司(以下簡稱航商)亦發展出海運的軸輻網路，即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。主航線通常服務洲際間貨物往來，主要有越太平洋(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，集貨航線主要在匯集／配送洲內或區域內的貨物，如中國—日本集貨航線、新加坡—印尼泗水集貨航線等。

航商發展軸輻海運網路的目的在藉由集中貨物、使用大型貨櫃船運送，發揮流量規模經濟之效益，然並非所有貨物均經由軸心港轉運是最恰當的。採用軸輻海運網路在流量大的主航線上使用大型貨櫃船確有單位貨櫃航運成本降低的規模經濟效益，但地區港埠的貨櫃須運至軸心港轉運，將增加其運送距離與時間，以及在軸心港轉運的費用與時間。因此，當航商採用軸輻海運網路，在規劃各地區的航運服務時，不必全然採用軸輻系統，須視當地的貨物載運量、港埠分佈狀況、軸心港費率與效率、船舶規模經濟性等因素，以決定適當的運送路線。

船型與頻次決策亦是航商最重要的航運規劃課題之一。目前，航運市場上多以 2,000TEU¹以下的小型貨櫃船服務近洋航線，4,000TEU 以上的大型貨櫃船服務主要的遠洋航線，然而貨櫃船的船型變化極大，2003 年 8 月首航高雄港的東方海外貨櫃航運公司 (Orient Overseas Container Line, OOCL) 東方長灘輪容量高達 8,000TEU，與 4,000TEU 貨櫃船的適用航線必不相同。在運送頻次方面，為滿足貨主運送需求，航商於各航線均安排兩週一班以上的航運服務，其中大多為每週一班，亦有每月三班、每週二班、每週三班等

1 20 呎國際標準櫃(twenty-foot equivalent unit)，為貨櫃單位。

不同的運送頻次。

由於大型貨櫃船具有單位艙位成本(slot cost)降低的規模經濟性，故航商傾向採用大型貨櫃船，然若航線貨物載運量不大，造成船舶承載率過低，或運送頻次無法滿足貨主需求，則以使用小型貨櫃船較佳，這也就是目前實務上航商聯營盛行的重要原因，航商透過共同派船、艙位互租、艙位互換等聯營合作策略來擴大航線載運量、採用大型船運送以降低航運成本。因此，航商進行船型與頻次決策時，除考慮船型的規模經濟性，同時亦須注意貨物載運量、航程、航速、靠泊港費率與效率等相關影響因素，在航運服務品質達到一定水準後，安排航運成本最低或最具經濟效益的航運服務。

貨櫃運送路線、船型與頻次決策的結果，不僅影響到航商的營運效率，亦同時直接影響到提供給貨主的服務品質。由於貨櫃航運服務屬同質性高的產業，航商在競爭激烈與市場導向的環境中，除了考慮自身負擔的航運成本外，尚須同時增進其服務品質以提升競爭力，才是較佳的航運規劃。與貨物運送過程相關的存貨成本是影響航商航運服務品質的重要因素，如航商常透過提供高頻次航運服務、採用較快速貨櫃船運送或改變運送路線等方法，以降低貨物運送時間來提高其航運服務品質，而貨主亦常依存貨成本大小直接相關之航線頻次做為選擇航運服務之依據(如許巧鶯與彭美珠[1])。

雖然，存貨成本係由貨主所負擔，不過，Daganzo[2]在分析貨物儲運成本時曾指出：貨物從起點到終點的所有成本均要納入考量，無論該項成本是由貨主、運送人或其他人所負擔，如果一個最適化問題沒有考慮存貨成本，將使營運負擔轉價在貨主身上，如此一來，貨主將較不願意把貨物交給運送人運送。換句話說，在決策時若能將存貨成本納入考量，會是較佳的決策。因此，本研究提出在進行航運規劃決策時，以航運成本與存貨成本為決策的兩個主要考量因素。

存貨成本的概念源於物流研究的EOQ模式(Economic Order Quantity模式；或稱經濟批量模式)。Daganzo等學者進一步將此EOQ模式的存貨成本概念擴展至運輸服務的成本分析與決策上。如：Daganzo[2]提出由最小化總儲運成本以決定最佳的運送服務；Blumenfeld et al.[3]分析運輸成本、存貨成本與生產成本間的替換關係，以決定貨運網路的最適運送策略；Hall[4]同時考慮運輸成本與存貨成本，建立一個貨物運送路線選擇模式，探討在一個轉運站情況下，貨物該直接運送或轉運；許巧鶯與王志青[5]分析航空貨物的總

儲運成本，探討在軸輻航空網路下各航線的貨物應採直接運送或透過空運中心轉運；許巧鶯與蕭國洲[6]構建廠商直接運送與轉運兩路線之成本函數，由運送成本的比較來探討廠商在空運中心設置轉運站進行轉運之課題。

在海運上，過去文獻亦有論及存貨成本，如 Jansson and Shneerson[7]亦提出將貨主存貨成本與接駁運輸成本(feeder transport cost)納入航運服務決策考量的經濟分析模式，Pope and Talley[8]並進一步延續 Jansson and Shneerson[7]的研究，其指出最適船型與選用的存貨管理模式、存貨短缺與安全存貨的處理、流行的存貨管理成本結構等三方面具有高度敏感性。惟其所定義的存貨成本係指貨主、購買商或進口商所負擔的所有貨物存貨成本，除考慮貨物的時間成本外，尚考慮到存貨的管理與控制，而本研究所指稱的存貨成本，係延續 Daganzo[2]從貨物的角度來分析，僅探討貨物在由起點至終點的運送過程中所發生的存貨成本，不考慮存貨的管理控制策略。此外，Jansson and Shneerson[7]的研究以航運成本與存貨成本總和最小化為目標，而本研究將航運成本與存貨成本視為兩分別目標。

要將存貨成本納入航商航運規劃決策考量的本質為雙目標，因為追求航運成本最小化與追求存貨成本最小化是兩個互相衝突的目標，通常當航班頻次密集時的存貨成本低、航運成本高，而當航班頻次稀疏時的航運成本低、存貨成本高。本研究基於航商雖將存貨成本納入決策考量，但對於存貨成本的重視程度則不一定等同於其自身負擔的航運成本，因此，提出將航運成本與存貨成本視為兩分別的目標，如此將求得在不同航運成本與存貨成本目標達成程度下的最適路線、船型與頻次。

過去已有許多文獻採用雙目標方法來分析運輸課題，研究結果顯示出採用雙目標的優點。相關文獻在航空服務規劃方面有 Flynn and Ratick[9]，在公車營運規劃方面有 Tzeng and Shiau[10]，在航空公司航運規劃方面有 Teodorovic and Krmar-Nozic[11]，在鐵路貨運規劃方面有 Fu and Wright[12]，在捷運網路設計方面有 Israeli and Ceder [13]，在空服人員排班方面有 Teodorovic and Lucic[14]，在鐵路空運服務規劃方面有 Chang et al.[15]，在航空網路設計方面有 Hsu and Wen [16]，而在鐵路排程方面有 Ghoseiri et al.[17]等。一個雙目標的決策通常可以提供較佳的替選方案，且使得決策有較高的彈性。此外，以航運成本最小化或以航運成本與存貨成本總和最小化之單一目標決策，可視為雙目標決策之特例。

過去關於航運規劃的文獻大多針對一般網路的航線安排(ship routing)、船隊部署(fleet deployment)與船期安排(ship scheduling)課題做探討。如 Rana and Vickson[18]、Cho and Perakis[19]、Powell and Perakis[20]、Sambracos et al.[21]、盧華安[22]、盧華安與徐育彰[23]、陳春益與邱明琦[24]、郭塗城與朱經武[25]等，特別是 Ronen[26, 27] 與 Christiansen et al.[28]每隔十年就彙整分析所有海運規劃文獻以前瞻未來研究方向，因此 2004 年前絕大部份的航運規劃文獻均彙整於其文章中。這類研究著重於應用網路模式構建數學規劃模式與設計求解方法，通常為單一目標規劃，且針對一般網路做探討，不考慮軸輻網路之規模經濟特性與貨物轉運特性，對於船型與頻次決策亦少有著墨。

關於船型研究的文獻主要分析船舶大小與航運成本之關係，探討船舶的規模經濟性。如 Jansson and Shneerson[29]、董孝行[30, 31]等人研究指出隨著船舶增大，平均航行成本(cost per ton at sea)呈遞減趨勢，具有規模經濟的現象，而平均滯港成本(cost per ton in port)呈遞增趨勢，具有規模不經濟的現象，而由最小化兩成本之和可求得船舶平均成本最低的最適船型；近來 Cullinane and Khanna[32, 33]研究指出由於港埠生產力改善，使得貨櫃船每 TEU 貨櫃平均滯港成本之規模不經濟現象不顯著，各航線的最適船型呈增大之趨勢。這類研究由船舶供給或操作面說明航運經濟性，大多未考慮貨物載運量或貨主需求之影響。

此外，部份文獻針對船舶大型化的影響作探討。例如：McLellan[34]針對超大型貨櫃船對於港埠設施、設備的衝擊做探討；Lim[35]從合作競爭策略運用的角度來探討貨櫃船大型化對航運市場之衝擊；Robinson[36]、王克尹[37]、郭石盾[38]等文獻則由目前的貨櫃航運發展趨勢，預測超大型貨櫃船未來的航運服務定位應在服務主要的、大運量的航線，而灣靠港口數目將減少。這些文獻著重於未來發展趨勢的說明與預測。

論及軸輻海運網路之文獻不多，但隨著實務上的盛行，逐漸有文獻探討相關課題。如 Robison[36]以敘述性的方式依過去航運發展史推測未來在遠東地區軸輻海運系統之運作趨勢；Bendall and Stent[39]在構建高速貨櫃船之船期安排模式時，以高速貨櫃船提供軸輻系統之近洋航運服務為例做分析；Mourão et al.[40]構建軸輻網路之船舶指派(ship assignment)模式，模式中以限制條件(constraints)處理軸輻網路的轉運特性；謝尚行與張斐茹[41]以

O'Kelly[42, 43]發展的軸輻航空網路模式為基礎，考慮海運特性以建立模式，分析軸輻海運網路的航線佈設及軸心港選擇問題；謝尚行、游至誠與王賢崙[44]進一步針對張斐茹所提出的模式做支線指派改善，發展出允許集貨港與軸心港不直接相連的模式。

不同於上述文獻以限制條件處理軸輻網路的轉運特性，或以主航線的成本折減(折扣率)表示軸輻網路的流量規模經濟效益，本研究以航運成本與存貨成本最小化為航運服務決策之雙目標，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，並同時改變航商航運成本與貨物存貨成本之特性，不必在模式中以外加限制條件之方式處理軸輻網路的轉運特性。構建的航運成本函數與存貨成本函數係與貨物載運量、船型相依的函數，直接將軸輻海運網路的流量規模經濟效益表現於成本函數中，不必以主航線的成本折減(折扣率)表示軸輻網路的流量規模經濟效益。

綜之，本研究提出以航運成本與存貨成本最小化之雙目標模式進行航運規劃，不但可以決定一貨櫃航線在各航運服務水準下的最適船型與頻次，亦可以決定軸輻網路轉運或直接運送之路線決策，並深入瞭解存貨成本、貨物載運量與船舶規模經濟性在決策中扮演的角色，分析航程、航速、港埠費率與效率等相關因素對決策之影響，可因應貨物載運量變動、港埠費率與效率改變等各種情況進行路線、船型與頻次之最適化決策。期雙目標模式可增加航商決策彈性以獲得較佳的規劃結果，運用模式探討超大型貨櫃船的航運經濟性結果，可協助航商估算各航線引入超大型船之最佳時機。

1.2 研究目的

依據研究動機，本研究的主要研究目的有五項，說明如下：

1. 提出以雙目標進行貨櫃運送之路線、船型與頻次決策分析，使得航商決策更具彈性，獲得較佳的規劃結果。
2. 推導船型決策與貨物載運量的關係，說明航商傾向採用大型貨櫃船之實務現況。
3. 以圖示顯示船型或路線決策結果，並在圖上分析重要因素對決策之影響，將決策資訊透明顯示以輔助航商做決策。
4. 透過範例分析與敏感度分析，驗證理論推導結果、闡述模式的實用性與應用性。

5. 運用模式探討超大型貨櫃船的航運經濟性，協助航商估算各航線引入超大型貨櫃船的最佳時機。

1.3 研究方法

本研究提出以航運成本與存貨成本最小化之雙目標模式，進行軸輻海運網路貨櫃運送之路線、船型與頻次決策。不同於過去文獻以航運成本與存貨成本總合為單一目標，或僅以航運成本為單一目標之決策，本研究基於貨櫃航運市場競爭激烈，航商僅考慮其自身負擔的航運成本是不夠的，為能提升其競爭力，最好能同時考慮到增進其服務品質，且與貨櫃運送過程關係密切的存貨成本。進而，有鑑於追求航運成本最小化與追求存貨成本最小化是兩個互相衝突的目標，要將存貨成本納入航商航運規劃決策考量的本質為雙目標，因此，提出以航運成本與存貨成本為兩個目標進行航運規劃決策。

在構建航運成本與存貨成本兩目標函數時，係運用解析性方法分析一多港靠泊航線之貨櫃運送過程以構建。其中，航運成本包括航商擁有與使用船舶須固定花費或分攤的船舶時間成本、船舶航行所須耗費的燃油成本，以及船舶在各港口灣靠與裝卸貨櫃所支付的港埠成本；而存貨成本則考慮因航運服務所發生的存貨成本，包括貨物在出發港等待運送之等待時間成本，以及在船上運送途中的航運時間成本。構建的兩成本函數為貨物載運量、船舶大小相依的函數，直接將流量規模經濟效益表現於成本函數中，不同於過去文獻以軸心港間的成本折減反應軸輻網路的流量規模經濟性。

雙目標最小化之柏拉圖最佳解係透過雙目標間的替換關係所求得。由航運成本與存貨成本間存在此消彼漲的替換關係，推導出兩成本的數學關係式。然後，由數學關係式的函數形式為雙曲線數學函數，得明確以圖示方式顯示在以航運成本、存貨成本為座標軸的二維目標值空間上，則在二維目標值空間上可決定雙目標最小化的柏拉圖最佳解，並同時求得任一多港靠泊航線在各航運成本與存貨成本水準下的最適船型與頻次。

進一步，以整個網路的總航運成本最小化與總存貨成本最小化為雙目標，得進行軸輻海運網路之直接與轉運路線決策分析。同樣透過航運成本與存貨成本間的替換關係，分別推導出貨物經軸心港轉運與直接運送時，兩運送方案各別之總航運成本與總存貨成本數學關係式，據以求得兩運送方案的柏拉圖最佳解。在目標值空間上比較兩運送方案的柏拉圖最佳解，可決定在

不同航運成本與存貨成本水準下的直接或轉運路線決策，並同時求得各航線的最適船型與頻次。

不同於過去文獻多以最佳解演算法或啟發式演算法求解，本研究由兩成本間的替換關係決定柏拉圖最佳解，係提出另一種規劃決策的替選方法。而目標值空間上分析重要因素對決策之影響，以圖形顯示船型決策傾向使用大型船之趨勢，可將決策資訊清楚顯示以輔助航商綜合考量以做出最佳決策。相同的問題亦可構建數學規劃模式、設計求解方法以獲得柏拉圖最佳解。

本研究在理論推導後並蒐集船舶與港埠成本資料進行範例分析，以驗證理論推導結果、闡述模式的實用性與應用性。在船型與頻次決策部份：以一越太平洋航線為例進行分析，計算出該航線的柏拉圖最佳解與實務可行解，並以圖示方式顯示船型決策隨貨物載運量增加而傾向使用較具規模經濟性的大型貨櫃船。此外，並針對航程長度、靠泊港數目與港埠效率等因素進行敏感度分析。進而運用模式探討超大型貨櫃船的航運經濟性，估算各大型、超大型貨櫃船投入該條越太平洋航線營運之經濟營運載運量，並分析港埠效率、船舶時間成本、靠港數目、航程長度、方向載運量比例等因素對超大型貨櫃船營運競爭力之影響。

在軸輻網路之直接與轉運路線決策部份，分別進行單一集貨港與多集貨港兩範例。在單一集貨港範例中，計算菲律賓地區運往北美西岸貨物經高雄港轉運與直接運送兩情況之柏拉圖最佳解，並以圖示顯示在二維目標值空間上，相較以得到在不同航運成本與存貨成本水準之最適路線、船型與頻次。然後，進一步在多集貨港範例中，不僅以圖示顯示泰國、菲律賓與越南三地區貨物經高雄港轉運與直接運送之柏拉圖最佳解，求得三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，並分析貨物載運量、集貨港區位、軸心港費率與效率等因素對決策之影響。

1.4 研究內容與流程

本研究的研究流程如圖 1 所示，詳細內容說明如後。

1. 問題界定

首先界定探討之課題，以確認研究目的、研究方法、研究內容、研究範圍與研究限制。

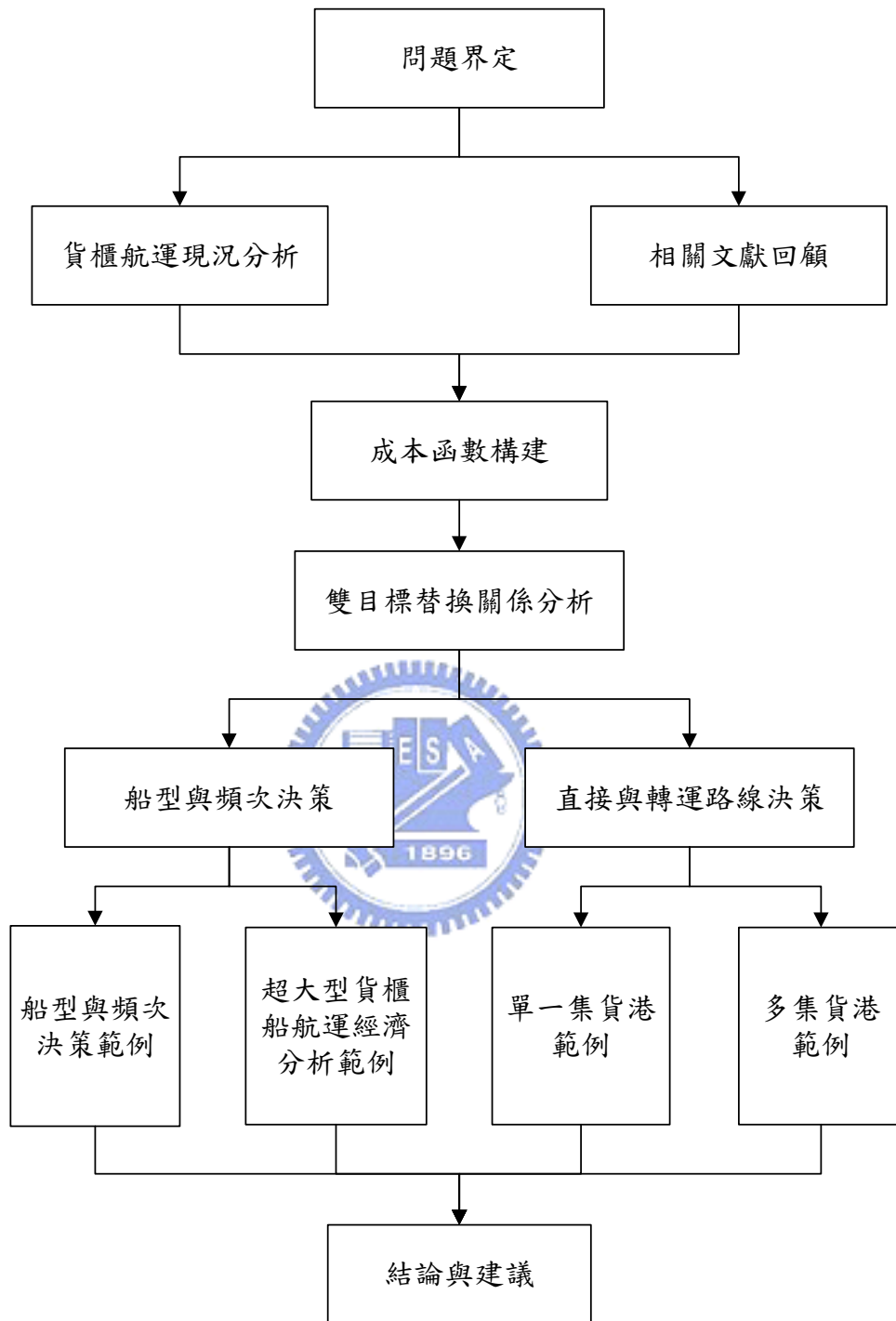


圖 1 研究流程圖

2. 貨櫃航運現況分析

為掌握全球貨櫃航運現況，首先簡要回顧貨櫃運輸的發展沿革，說明目前全球各主要區域間的貨櫃流量，以及未來貨櫃流量的可能成長情形，然後說明目前全球貨櫃船的總船舶數量與總運送能量，最後闡述現今國際貨櫃航運市場的三大發展趨勢：船舶大型化、航商聯營化與航線軸輻化。

3. 相關文獻回顧

回顧有關於存貨成本、航運規劃、船舶規模與軸輻網路等方面的相關文獻，作為後續研究之基礎。

4. 成本函數構建

運用解析性方法分析多港靠泊航線之貨櫃運送過程，構建航運成本函數與存貨成本函數。其中，在航運成本方面，考慮航商擁有與使用貨櫃船須固定花費或分攤的時間成本，以及貨櫃船航行須耗費的燃油成本、灣靠港口須支付的港埠成本；在貨物存貨成本方面，考慮因航運服務所發生的存貨成本，包括貨物在出發港的等待時間成本，以及在運送途中的航運時間成本。然後，說明兩成本函數均與貨物載運量、船型相依，可反應流量規模經濟的特性。

5. 雙目標替換關係分析

由航運成本與存貨成本間存在替換關係，推導出兩目標間的數學關係式。由此一數學關係式的函數形式為雙曲線數學函數，得明確以圖示方式顯示在二維目標值空間，則在目標值空間上可決定雙目標最小化的柏拉圖最佳解，並可進行單一航線的船型與頻次決策分析，探討軸輻網路轉運或直接運送之路線決策。

6. 船型與頻次決策

在船型與頻次決策方面，以單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本最小化為雙目標，由構建的成本函數推導出單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本的數學關係式，求得各型船的可行解與雙目標最小化的柏拉圖最佳解，並以圖示方式顯示在目標值空間上。然後，在目標值空間上分析大小兩型貨櫃船的所有可能決策情況，以深入瞭解存貨成本、航速與船舶規模經濟性等因素在決策中扮演的角色。另並將函數形式作適度

簡化以探討貨物載運量變動之影響，以求得在不同貨物載運量下的最適船型，推論船型決策隨貨物載運量變動之趨勢。

7. 船型與頻次決策範例

以一越太平洋航線為例進行數值分析，在範例中求算該航線各型貨櫃船的可行解與柏拉圖最佳解，並進一步考慮實務可行的運送頻次以求得實務可行解，及分析船型決策隨貨物載運量變動之情形，推估在不同航程、靠泊港數與港灣效率時的最適船型。

8. 超大型貨櫃船航運經濟分析範例

探討超大型貨櫃船投入該越太平洋航線營運的航運經濟性，估算使用各型貨櫃船的經濟營運載運量，並透過敏感度分析確認各項關鍵因素對提高超大型貨櫃船競爭力之影響程度。

9. 直接與轉運路線決策

在路線決策方面，以軸輻系統的總航運成本與總存貨成本最小化為雙目標，針對軸輻貨櫃海運網路進行直接與轉運路線決策。同樣基於兩目標間的替換關係，推導出總航運成本與總存貨成本間的數學關係式，求得任一航線的柏拉圖最佳解。基於軸心港有集中貨物運送的功能，而假設航商得在主航線安排航運成本最小之航運服務，推導出貨物採轉運時的柏拉圖最佳解，以及貨物直接運送之柏拉圖最佳解，在目標值空間上比較轉運與直接運送兩方案之柏拉圖最佳解，即可決定在各航運成本與各存貨成本水準下的最佳路線，並同時求得各航線的最適船型與頻次。

10. 單一集貨港範例

同樣以數值分析驗證理論推導結果。在單一集貨港範例中，計算菲律賓地區運往北美西岸貨物經高雄港轉運與直接運送兩情況之柏拉圖最佳解，並以圖示顯示在二維目標值空間上，相較以得到在不同航運成本與存貨成本水準之最適路線、船型與頻次。

11. 多集貨港範例

進一步分析多集貨港情況，不僅以圖示顯示泰國、菲律賓與越南三地區貨物經高雄港轉運與直接運送之柏拉圖最佳解，求得三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，並分析貨物載運量、集貨港區位、軸心港費率與效率等因素對決策之影響，以闡述實

務上貨物載運量增加有利於直接運送，而軸心港費率下降或作業效率提升有吸引貨物轉運之特性。

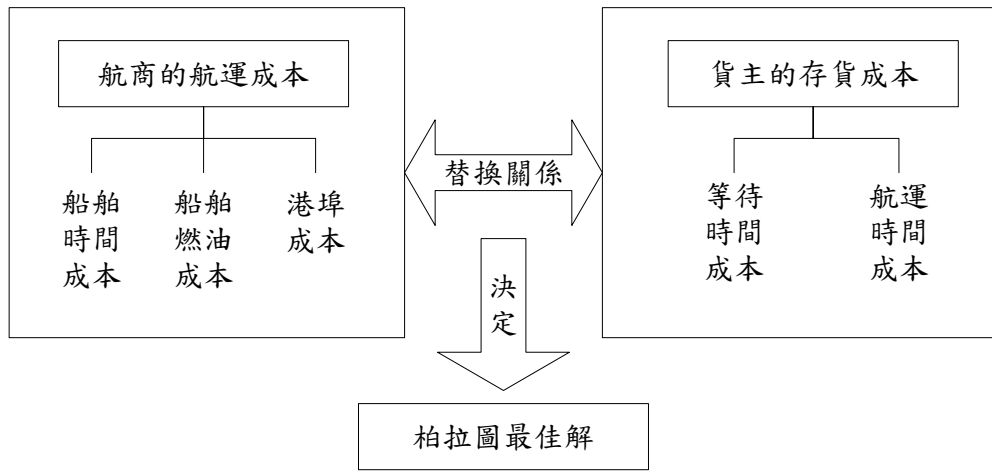
12. 結論與建議

最後，依據研究結果提出一綜合結論，並提出相關討論與建議。

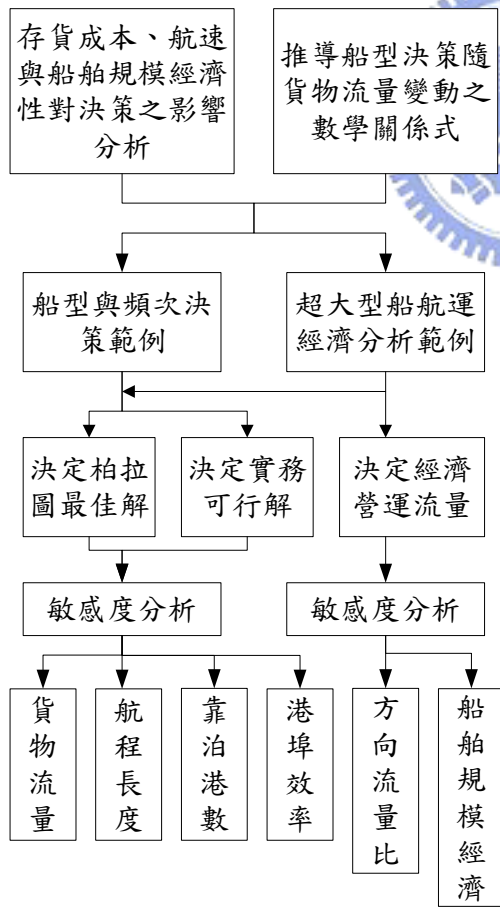
綜合上述，本研究探討之主題包含雙目標模式構建、船型與頻次決策、直接與轉運路線決策三部份，研究架構如圖 2 所示。



雙目標模式



船型與頻次決策



直接與轉運路線決策

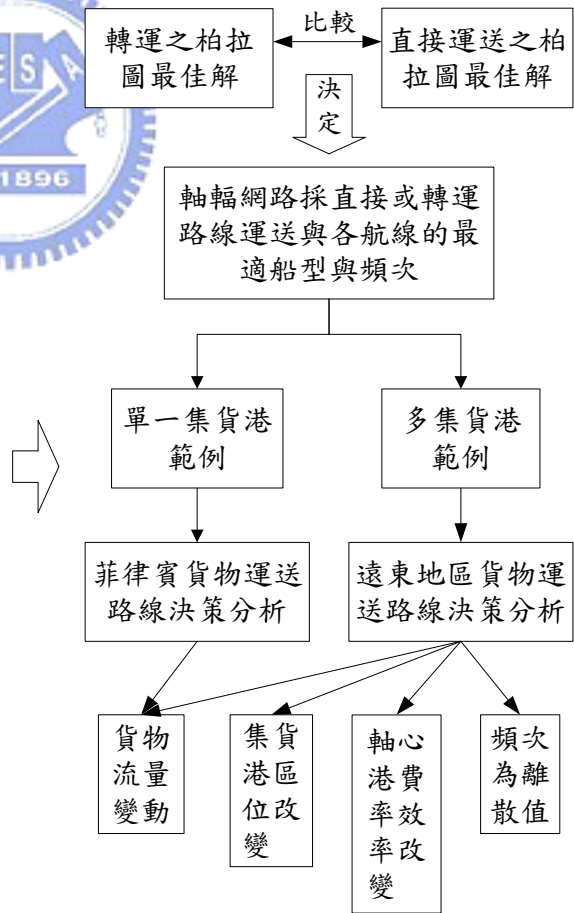


圖 2 研究架構圖

1.5 研究範圍與限制

定期貨櫃航商在開闢新航線或調整既有航線時，通常先評估全球經貿之大環境發展趨勢，再針對特定之海運市場進行調查與分析，以掌握各經濟區域間貨櫃流向之概況，以做為航線規劃設計之主要參考依據(盧華安，[22])。本研究的研究範圍為航商已掌握區域間貨櫃運送需求、確定航線服務範圍靠泊港口後，決定各航線的最適船型與頻次，與決定軸輻網路中貨物採直接運送或經軸心港轉運，因此，本研究在貨物載運量確定情況下進行路線、船型與頻次決策分析，視貨櫃運送需求為外生。

本研究提出以解析性方法，由兩成本間的替換關係決定雙目標最小化的柏拉圖最佳解，並非要以此解析性方法取代傳統的數學規劃法，而是提出另一種規劃決策的替選方法，透過分析重要因素對決策之影響，將決策資訊清楚顯示，以輔助航商綜合考量後做出最佳決策。相同的問題亦可採用數學規劃法，透過構建數學規劃模式、設計求解方法以獲得柏拉圖最佳解，另外，當欲處理的問題較複雜、有較多限制條件而不易以解析性方法分析時，可改以數學規劃法進行求解。

關於貨櫃船的運送頻次，在實際航運市場中的貨櫃航線運送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的運送頻次。由於以解析法理論推導柏拉圖最佳解時，運送頻次若為整數，將因為沒有數值而無法具體顯示在目標值空間上。因此，本研究在理論推導時考慮運送頻次為正實數，得以一段或數段曲線將決策結果顯示在目標值空間上。而後在範例分析時，再進一步考慮每週一班、每週二班、兩週三班或每月三班等實務可行的運送頻次。

關於軸輻網路的路線決策，本研究的研究對象為採用軸輻網路之遠洋貨櫃航商，探討其在調整航線時是否增加直運航線。亦即針對一集貨航線上集貨港運至另一區域軸心港貨物是否經當地軸心港轉運或直接運送做探討分析，並非針對整個網路規劃出最佳的軸輻網路路線。因此，研究結果可提供從事遠洋航運服務的中大型貨櫃航商參考，如長榮、陽明、美國總統輪船公司(APL)、快桅(Maersk Sealand)、地中海航運(MOL)、東方海外(OOCL)、中國遠洋運輸(Cosco)等，較不適合於經營地區性貨櫃航運服務的小型貨櫃航商。此外，在分析時可針對只有一條主航線的基本軸輻網路做探討。

圖 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(p1、p2)運至另一地區軸心港(p5、p6)，應以直運航線 d (p1→p2→p5→p6→p5→p1) 直接運送，或利用集貨航線 s (p3→p1→p2→p3) 與主航線 h (p3→p4→p5→p6→p5→p4→p3) 透過當地軸心港(p3)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。

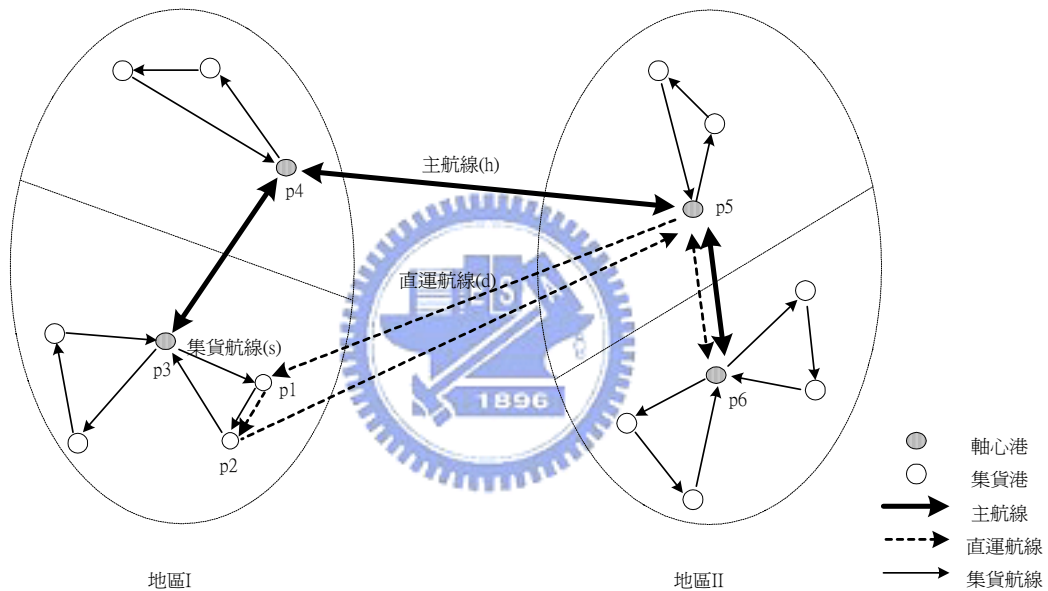


圖 3 基本的軸輻海運網路型態示意圖

第二章 航運現況分析與文獻回顧

為掌握全球貨櫃航運現況，並瞭解過去相關議題之研究，本章首先分析目前全球的貨櫃航運現況，而後回顧航線規劃、船舶規模經濟與軸輻網路等相關文獻，俾作為後續研究之基礎。

2.1 全球貨櫃航運現況分析

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般雜貨船所能比擬。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。本節首先概要介紹貨櫃運輸的發展沿革，其次說明目前全球各主要區域間的貨櫃流量與未來流量成長情形，並說明目前全球貨櫃船的總船舶數量與總運送能量，最後闡述現今國際貨櫃航運市場的三大發展趨勢：船舶大型化、航商聯營化與航線軸輻化。

2.1.1 貨櫃運輸發展沿革

貨櫃運輸始於第二次世界大戰，美軍為運輸龐大的軍需品至世界各地，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，發展地區含蓋美、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，此時為貨櫃海運的成長期。

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。

2.1.2 全球貨櫃海運運量

根據 Drewry Shipping Consultants[45]的全球貨櫃量資料顯示：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約 10.5%，至 2003 年達到 3 億 1700 萬 TEU。若以區域分析，以遠東地區占有率最大，2000 至 2003 年均逐年成長，占全球 30.2%~34.2%，2003 年更突破 1 億 TEU；其次是歐洲地區，裝卸量由 5300 萬 TEU 逐年成長至 6500 萬 TEU，占有率介於 20.4%~22.4%；第三是東南亞地區，裝卸量亦由 3400 萬 TEU 逐年成長至 4500 萬 TEU，占有率介於 14.3%~14.9%；第四是北美洲地區，裝卸量由 3100 萬 TEU 逐年成長至 3700 萬 TEU，占有率介於 11.8%~13.1%；其他地區占有率雖低於 10%，但仍呈現逐年成長之趨勢。

根據 Drewry 分析，近年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 2002 和 2003 年中國經濟是貨櫃貿易發展的驅動力，預估 2004 和 2005 將維持前兩年之趨勢持續成長，成長率預估 13.4%及 11.2%。2006 至 2009 年將趨於保守，預估成長率調降為 8.5%至 6.6%間。按 Drewry 預測趨勢，2003 年全球港口貨櫃裝卸量是 3 億 1700 萬 TEU，預估至 2009 年將達到 5 億 2800 萬 TEU，成長 66.5%。其中遠東地區在 2003 年是 1 億 900 萬 TEU，預估至 2009 年將達到 2 億 900 萬 TEU，成長 91.9%，成長率高於全球成長率。

進一步來看全球各主要區域間的貨櫃流量。圖 4 顯示 Containerisation International [46]所統計的 2004 年全球各主要區域間貨櫃流量。資料顯示：各區域間的貨櫃流量以東西向流量較大，南北向流量相對較少。東西向的流動以遠東與北美地區間的流量最大，雙向流量達 1646.7 萬 TEU，遠東與歐洲間的流量其次，雙向流量為 1055.0 萬 TEU，而北美與歐洲間的流量第三，雙向流量為 492.5 萬 TEU。三條主要貨櫃流的東西向流量不均衡情況均很嚴重，以遠東與北美間的貨櫃流為例，遠東運往北美的貨櫃達 1233.7 萬 TEU，而北美運往遠東的貨櫃僅 413.0 萬 TEU，換句話說，每三個由遠東運至北美的貨櫃只有一個運回。

南北向的流動主要有東北亞—東南亞、北美—中南美、遠東—大洋洲、歐洲—西非、歐洲—大洋洲、歐洲—中南美等。其中，以東北亞與東南亞間的流量較大，雙向流量達 777.6 萬 TEU，北美與中南美間的流量其次，雙向流量達 384.9 萬 TEU，歐洲與中南美間的流量第三，雙向流量達 260.0 萬 TEU。Containerisation International 亦預測未來三年全球各區域間的貨櫃流量均將持續成長，其預測 2008 年各主要區域間的貨櫃流量如圖 5 所示。

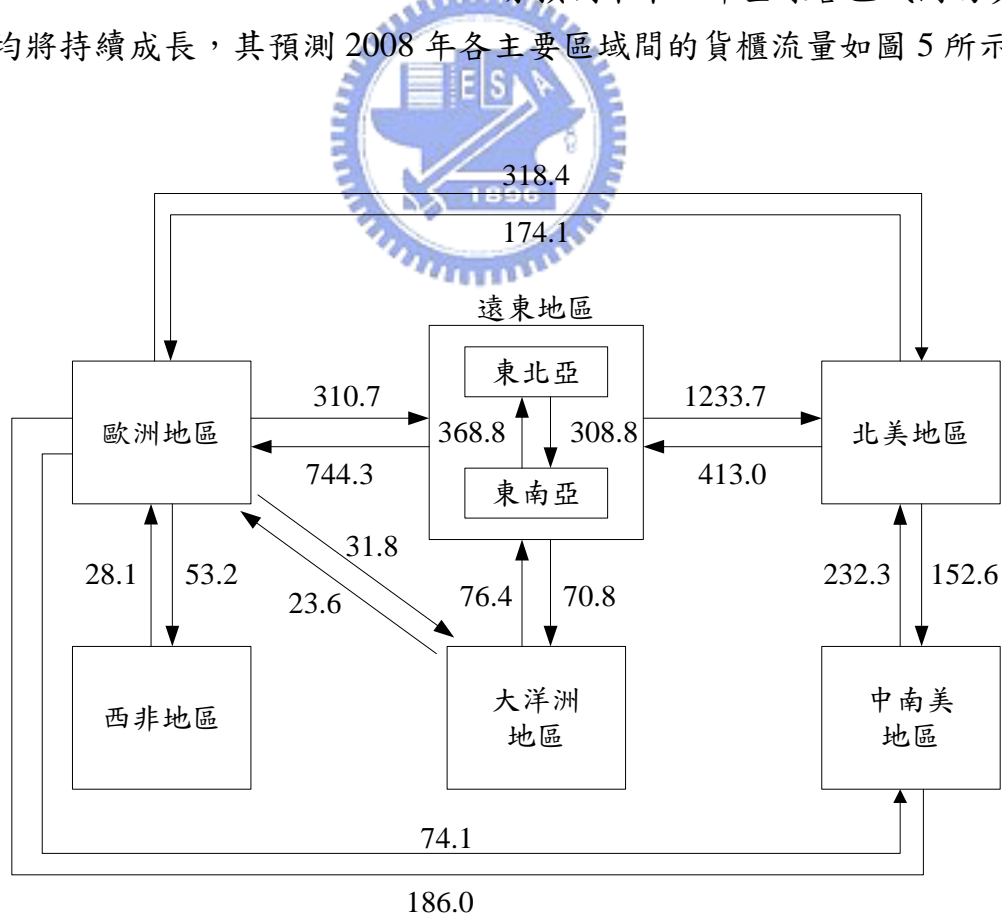


圖 4 2004 年全球各主要區域間的貨櫃流量

資料來源：Containerisation International [46]。(單位：萬 TEU)

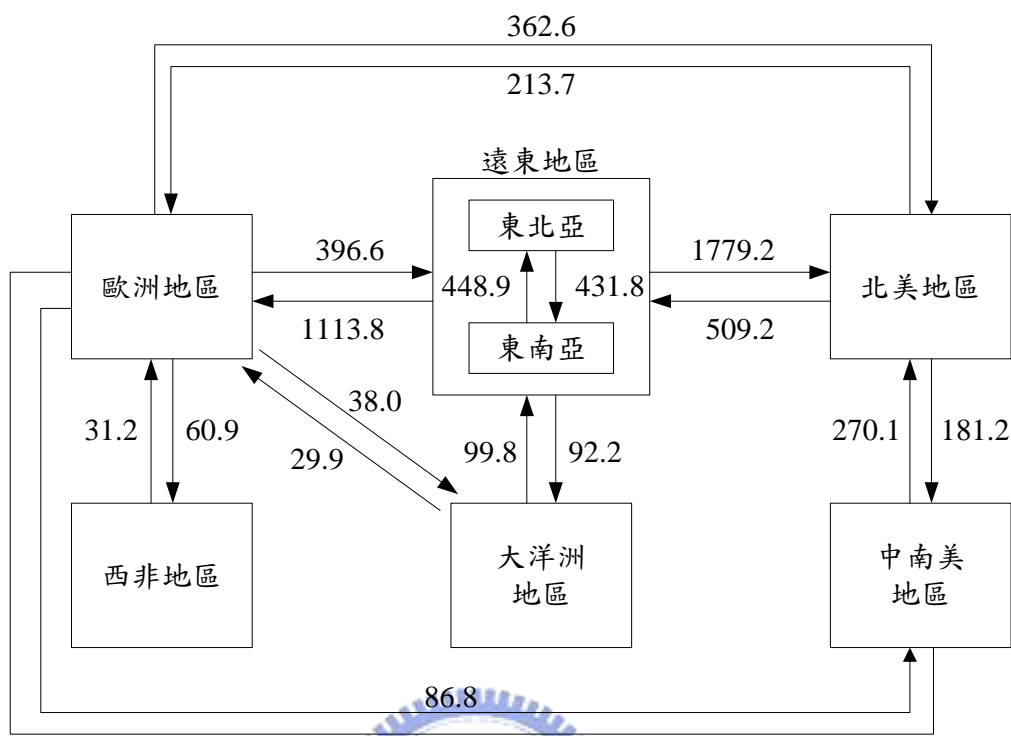


圖 5 2008 年全球各主要區域間的貨櫃流量預測值

資料來源：Containerisation International [46] (單位：萬 TEU)

2.1.3 全球貨櫃船舶數量與能量

表 1 顯示目前全球各規模貨櫃船的數量與能量。表中顯示：在 2005 年底全球貨櫃船舶能量達 802 萬 TEU，較 2004 年底增加了 11.8%，而且此一成長趨勢仍在持續，若所有新造貨櫃船均如期投入營運，則至 2006 年底全球貨櫃船舶能量將增加 16.9%，至 2007 年底將再增加 15.2%。

全球貨櫃船舶的能量幾乎都集中在主要貨櫃航商手中，按 2005 年 9 月之資料顯示，世界前二十大貨櫃船營運業者的能量達 664 萬 TEU，約佔世界總量的 86%，其中排名第一的 AP Moller Group 獨佔總量的 13%。表 2 顯示世界前 20 大貨櫃船公司的排名統計。

表 1 全球貨櫃船舶的數量與能量

船舶規模 (TEU)	2005 年底(營運中)		2006 年(新造)		2007 年(新造)	
	艘數	能量(TEU)	艘數	能量(TEU)	艘數	能量(TEU)
0-499	393	125,525	0	0	0	0
500-999	643	465,408	84	69,328	38	31,552
1000-1999	972	1,372,615	75	108,966	81	121,508
2000-2999	579	1,441,230	72	190,384	60	160,264
3000-3999	288	989,243	19	63,094	42	144,015
4000-4999	285	1,245,485	40	170,245	55	247,215
5000-5999	217	1,188,329	23	124,771	27	148,071
6000 以上	170	1,195,055	78	630,203	74	577,673
總計	3,547	8,022,890	391	1,356,991	377	1,430,298

資料來源：Containersation International[47]。

表 2 世界前 20 名貨櫃船公司排名統計

2005 年 排名	2004 年 排名	船公司	艘數	載櫃能量 (TEU)
1	1	AP Moller-Maersk Group	399	1,005,554
2	2	地中海航運(MSC)	264	713,808
3	4	P & O Nedlloyd	165	490,435
4	3	長榮集團(Evergreen Group)	150	450,927
5	5	CMA CGM	192	426,994
6	6	美國總統輪船(APL)	106	322,520
7	10	CSCL	108	304,788
8	9	中國遠洋運輸(Cosco)	116	299,961
9	7	韓進海運(Hanjin Group)	77	296,938
10	8	日本郵船(NYK)	107	287,137
11	11	東方海外(OOCL)	68	236,018
12	16	CSAV Group	88	231,419
13	12	大阪商船(MOL)	72	226,105
14	15	川崎汽船(K Line)	74	219,560
15	17	Hapag-Lloyd	57	215,694
16	13	Zim	90	210,407
17	20	Hamburg Sud	86	191,333
18	18	陽明海運(Yang Ming)	68	189,939
19	14	CP Ships	76	179,209
20	19	現代商船 (Hyundai Merchant Marine)	37	142,257

資料來源：Containerisation International[48]。

2.1.4 國際海運發展趨勢

目前國際海運的發展主要有三大趨勢，一是貨櫃船的運送船型趨向大型化，二是航商間的聯營合作盛行，三是貨櫃運輸形成海運的軸輻網路。

1. 貨櫃船大型化

目前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，世界各主要貨櫃航線的運送船型趨向大型化。以 1997 年至 2006 年之世界各型貨櫃船的數量多寡來看(如表 3 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 2006 年的 29.2%，1,000~2,000TEU 貨櫃船數之比例從 1997 年的 34.4% 降至 2006 年的 27.4%，而 4,000TEU 以上貨櫃船數的比例由 1997 年的 5.9% 升至 2006 年的 18.9%，明確顯示整體貨櫃船的船型正朝向大型化。

表 3 1997~2006 年世界各型貨櫃船之數量統計

船舶大小 (TEU)	1997 年		2000 年(12 月)		2003 年(5 月)		2006 年(1 月)	
	艘數	比率(%)	艘數	比率(%)	艘數	比率(%)	艘數	比率(%)
0-499	344	18.8%	376	14.9%	422	13.8%	393	11.1%
500-999	295	16.1%	462	18.4%	559	18.3%	643	18.1%
1000-1999	629	34.4%	801	31.8%	899	29.4%	972	27.4%
2000-2999	304	16.6%	399	15.9%	471	15.4%	579	16.3%
3000-3999	148	8.1%	230	9.1%	275	9.0%	288	8.1%
4000-4999	92	5.0%	157	6.2%	209	6.8%	285	8.0%
5000-5999	17	0.9%	60	2.4%	135	4.4%	217	6.1%
6000 以上	0	0.0%	32	1.3%	93	3.0%	170	4.8%
總計	1,829	100.0%	2,517	100.0%	3,063	100.0%	3,547	100.0%

資料來源：Containersation International[49]。

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 6,000TEU，到了 2001 年為 Hapag Lloyd 的 7,500TEU 貨櫃船，2003 年為 OOCL 的 8,000TEU 貨櫃船，而目前世界最大的貨櫃船為地中海航運(MSC)的 9,200TEU 貨櫃船，已於 2005 年投入亞洲—歐洲航線服務。此外，CSCL 公司新建 9 艘 9,560TEU 貨櫃船預計在今年(2006 年)7 月投入營運，中遠(Cosco)新建 8 艘 10,000TEU 貨櫃船預計在 2008 年 9 月投入營運。可知目前船舶大型化的趨勢仍在持續進行中。

2. 航商聯營合作

貨櫃運輸服務係屬同質性高之產業，各貨櫃航商面對競爭極為激烈的定期航運市場，紛紛籌組航運聯盟或採用協議合作之營運方式，其目的除了增加作業據點、擴大貨源、增加調派船舶航班之靈活度外，更希望能增加設備利用率、周轉率，以降低成本、提昇服務品質與強化競爭力。傅衡宇[50]指出目前海運市場上較常見的海運策略聯盟方式有公攤協定(Pooling Agreement)、共同派船(joint fleet)、艙位互租(Slot-space Charter; Cross-slot charter)、艙位互換(Slot exchange)與艙位租用等方式。各海運策略聯盟說明如下：

(1) 公攤協定：

係指營運於同一航線上之兩家以上船公司，共同派船營運，運價統一，依據一固定公式，對參與協定之成員，提供貨運量之盈虧、費用之分攤。

(2) 共同派船：

係指各成員公司共同派船經營某一航線，噸位依出船之比率分配，市場及財務獨立，運價、港埠費用及其他費用、相關事宜、貨櫃集散站也各負其責，但為了運作方便起見，雙方會協議共同碼頭或其他相關設備及設施。

(3) 艙位互租：

兩家或兩家以上之公司經營類似航線或不同航線，相互簽定租用艙位之契約，其目的是擴充雙方之服務領域，提升服水準，對於貨源之招攬即船舶之營運，則由航運公司各自為之。

(4) 艙位互換：

係指船公司以自己擁有之艙位去換取其他公司之艙位，藉以提高艙位利用率並可增加第三國貿易間之承運機會，一般而言，交換艙位之數量相等。

(5) 艙位租用：

係指一船公司在某一航線上之營運規模經評估後未達自行派船的水準或是攬貨量突然增加，導致艙位不足，而向同航線之其他船公司租用所需之艙位。

目前全球著名之航商聯盟有大聯盟(Grand Alliance)、新世界聯盟(New World Alliance)與 CHKY 聯盟等。其中大聯盟包括 Hapag-Lloyd、東方海外(OOCL)、MISC 與日本郵船(NYK)等四家航商，新世界聯盟包括 Mitsui、NOL/APL 與現代(Hyundai)等三家航商，CHKY 聯盟則由中國遠洋(Cosco)、韓進(Hanjin)、川崎(K Line)與陽明(Yaung Ming)四家航商組成。此外，長榮亦與 Hatsu Marine、Lloyd Triestino 組成一營運集團，快桅(Maersk Sealand)亦與 Portlink、Safmarine 組成 AP Moller-Maersk Group。因此，貨櫃航商間的分分合合變動極快，今日的結盟伙伴，明日可能各奔東西，或者合併為同一公司。例如：先前大聯盟除目前四家航商外尚包括 P & O Nedlloyd；目前的快桅(Maersk Sealand)即在前幾年由快桅(Maersk)與海陸(Sealand)兩家公司合併而成。無論如何，定期貨櫃航商間進行策略聯盟的需求是不會減少的。

3. 貨櫃軸輻網路形成

目前軸輻網路在航空客運網路、航空貨運與快遞運輸網路、網際網路、通訊網路等方面均大為風行。在海運上，隨著全球經濟的發展與貿易活動的熱絡，航運市場日趨繁榮，從事遠洋業務的定期貨櫃船公司亦發展出海運的軸輻網路，即在航運網路中選擇數個港埠為軸心港，以大型貨櫃船—母船行駛軸心港與軸心港間的主航線，而以小型貨櫃船—集貨船行駛軸心港與地區港埠之間。

主航線服務洲際間貨物往來，主要有越太平洋航線、越大西洋航線、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—印尼泗水集貨航線等。隨著超大型貨櫃船的競相投入海運市場營運，導致軸輻系統的運輸方式的優勢日益增長，運用軸心港進行貨櫃轉運之貨櫃運輸方式已形成全球性的發展趨勢。

在亞太地區，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。其中，香港與高雄港主要轉運中國華南地區、東南亞地區運往北美洲之貨物，亦轉運東北亞日、韓等國運往歐洲之貨物；釜山港主要轉運中國華北、東北地區運往北美洲之貨物；新加坡港主要轉運亞太地區運往歐洲之貨物，亦轉運東南亞運往北美洲之貨物。

近來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三、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。這些變動對整個貨櫃航運市場將有相當大的影響，值得航運相關業者密切注意。

2.2 存貨成本之相關文獻

存貨成本的概念源於物流研究的 EOQ 模式。EOQ 模式在一般物流書籍中均有介紹，王立志[51]在其書中第十章中指出，經濟批量模式(EOQ 模式)係指在某特定假設條件下，決定最低成本下之訂貨批量大小。此訂貨量大小稱為經濟批量(EOQ)，其假設條件為：

1. 存貨需求為常數。
2. 訂貨前置時間為常數。
3. 準備成本(preparing cost)、持貨成本(carrying cost)及缺貨成本(shortage cost)為已知且為常數。
4. 可立即補貨(replenishment)。
5. 採購單位成本相同。

基於上述之假設，在經濟批量模式下訂貨量(經濟批量)的計算方法為：

$$Q^* = \left(\frac{2SD}{kC} \right)^{1/2} \quad (1)$$

其中，

Q^* ：經濟批量；

S ：整置成本(每張訂單)；

D ：存貨需求量；

k ：持有成本(每單位)；

C ：單位成本。

經濟批量模式下的訂購點計算方法為：

$$R = d \times L \quad (2)$$

其中，

R ：訂購點；

d ：每天平均需求；

L ：前置時間。

經濟批量模式的運作方法為，當存貨低於訂購點 R 時，規劃人員將開立訂單，而其訂購數量為經濟批量 Q^* ，如圖 6 所示。

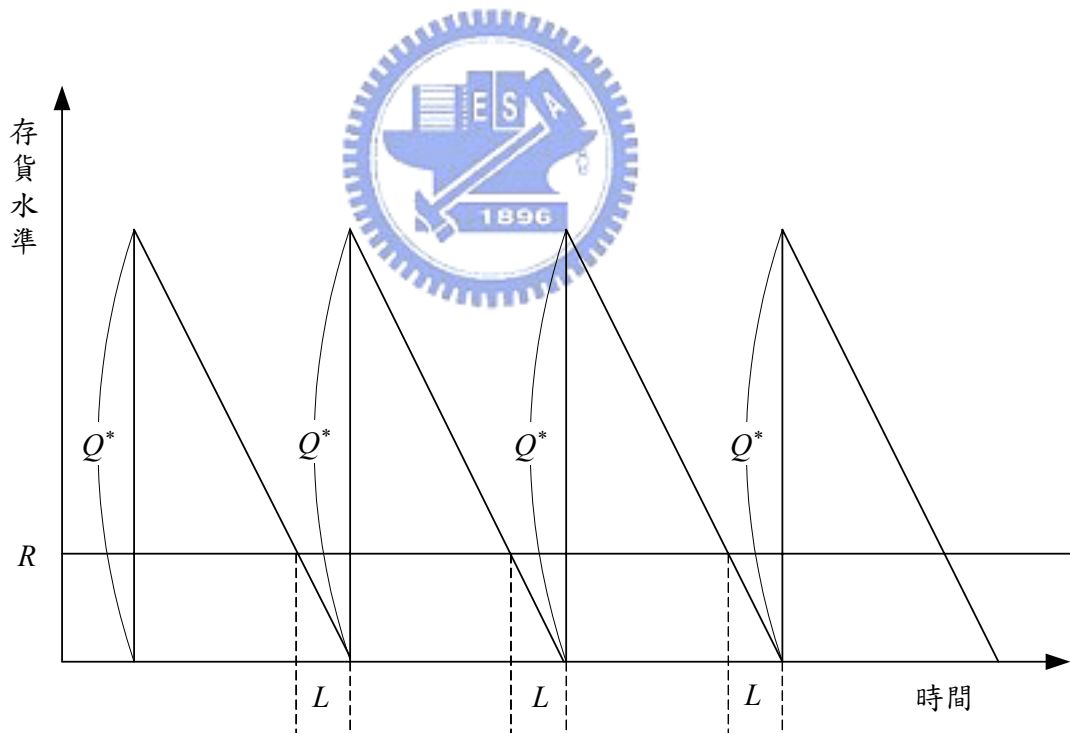


圖 6 經濟批量模式(EOQ 模式)

註：依據王立志[51]書中圖 10.5 重新繪製。

在此一標準 EOQ 模式之後還出現許多修正模式，以處理標準模式中與實際情形不符的假設。如：安全存貨(safety stock)模式、非立即補貨模式(noninstantaneous replenishment)與採購折扣(discounts)存貨控制模式等。安全存貨模式針對標準模式的存貨需求為常數之假設做修正，因為事實上存貨需求會隨時間的不同而有所差異的，亦即在固定時間間隔的需求不應為常數，而應為變數，為應付需求時間與數量的不確定性，規劃人員通常預先設立一適當的存貨量以預防供給短缺的情形發生，此一預設存貨量就是所謂的安全存貨。非立即補貨模式主要是針對經濟批量模式中立即補貨假設所做的修正模式，其主張在規劃的時程內，補貨的方式通常是連續的而非一次完成。採購折扣模式針對經濟批量模式中訂貨單位成本相同之假設做修正，因為在現實環境中通常採購的單位價格會隨著採購量的不同而有所差異，採購折扣模式決定採購量的方式為：在最低且合理成本下的採購量。

運輸學者們進一步將 EOQ 模式的概念擴展至運輸服務的成本分析與決策上。基本上，EOQ 模式主要透過存貨成本與訂貨成本兩者隨訂貨量的增加而變動之替換關係，決定成本最小的最適訂貨量。模式中，運輸成本通常簡單視為固定訂貨成本中的一部份，不會特別考量，且忽略運送網路的特性與路線安排對 EOQ 模式的影響。Daganzo、Blumenfeld et al.與 Hall 等運輸學者們提出將運輸成本納入模式考量之中，當運輸成本被考慮後，將得到運輸成本與存貨成本間的替換關係是一個運送量或運送頻次的函數，可以決定總儲運成本最小化的最佳運送量。例如：Blumenfeld et al.[3]提出的 EOQ 模式如下：

$$V = \min[\sqrt{FQ/RP}, S] \quad (3)$$

其中，

V ：最佳運送量；

F ：一卡車在該路段的運送成本；

Q ：路段載運量；

R ：存貨持有成本；

P ：平均貨物價值；

S ：卡車容量。

此一 EOQ 模式與標準 EOQ 模式只有兩方面差異，一是模式中多了卡車的容量；二是沒有常數 $\sqrt{2}$ ，此是因為在起點與終點均計算存貨成本。運用此一考量運輸成本的 EOQ 模式，不但可以分析運輸成本與存貨成本間的替換關係，並可以進行運輸上的路線決策。

例如：Daganzo[2]提出由最小化總儲運成本以決定最佳的運送服務；Blumenfeld et al.[3]分析運輸成本、存貨成本與生產成本間的替換關係，以決定貨運網路的最適運送策略；Hall[4]同時考慮運輸成本與存貨成本，建立一個貨運運送路線選擇模式，探討在一個轉運站情況下，貨物該直接運送或轉運；許巧鶯與王志青[5]分析航空貨物的總儲運成本，探討在軸輻航空網路下各航線的貨物應採直接運送或透過空運中心轉運。許巧鶯與蕭國洲[6]由廠商觀點來分析在空運中心設置配銷站之課題，構建廠商直接運送與轉運兩路線之成本函數，由運送成本的比較來探討廠商在空運中心設置轉運站進行轉運之課題，在模式中反映產品價值、市場分佈與空運中心航線流量、作業績效對運送成本與路線選擇的影響，並建立航線之臨界流量以作為判斷分佈於不同地理位置之各市場經銷點之產品是否需經空運中心轉運之指標，及進一步建立轉運市場範圍。

在海運上，過去文獻亦有論及存貨成本，如 Jansson and Shneerson[7]亦提出將貨主存貨成本與接駁運輸成本(feeder transport cost)納入航運服務決策考量的經濟分析模式，Pope and Talley[8]並進一步延續 Jansson and Shneerson[7]的研究，其指出最適船型與選用的存貨管理模式、存貨短缺與安全存貨的處理、流行的存貨管理成本結構等三方面具有高度敏感性。惟其所定義的存貨成本係指貨主、購買商或進口商所負擔的所有貨物存貨成本，除考慮貨物的時間成本外，尚考慮到存貨的管理與控制，而本研究所指稱的存貨成本，係延續 Daganzo[2]從貨物的角度來分析，僅探討貨物在由起點至終點的運送過程中所發生的存貨成本，不考慮存貨的管理控制策略。

存貨成本之相關文獻彙整於表 4。

表 4 存貨成本相關文獻彙整

作者	研究特色
Daganzo[2]	提出由最小化總儲運成本以決定最佳的運送服務。
Blumenfeld et al.[3]	分析運輸成本、存貨成本與生產成本間的替換關係，以決定貨運網路的最適運送策略。
Hall[4]	建立一個貨運運送路線選擇模式，探討在一個轉運站情況下，貨物該直接運送或轉運。
許巧鶯與王志青[5]	同分析航空貨物的總儲運成本，探討在軸輻航空網路下各航線的貨物應採直接運送或透過空運中心轉運。
許巧鶯與蕭國洲[6]	由廠商觀點來分析在空運中心設置配銷站之課題。
Jansson and Shneerson[7]	提出將貨主存貨成本與接駁運輸成本納入航運服務決策考量的經濟分析模式。
Pope and Talley[8]	指出最適船型與選用的存貨管理模式、存貨短缺與安全存貨的處理方式、流行的存貨管理成本結構等三方面具有高度敏感性。

註：本研究根據表列文獻整理。

2.3 一般航運規劃之相關研究

關於航運規劃之研究依探討主題可概分為三類：船舶航線安排、船隊部署與船期安排。船舶航線安排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；船期安排係指安排一艘船在航線上的運送計畫，通常受到其他船隊營運規劃決策因素的影響而無法單獨決定。陳春益與邱明琦[24]指出在實務規劃流程上，定期船航商多先進行船舶之航線安排(航線設計)，依據航線安排果部署適合的船型船隊，再依據船隊部署結果，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)亦在船舶航線安排與船期安排問題中探討。航運規劃模式通常以追求利潤最大化或成本最小化為目標函數，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。

過去關於航運規劃的文獻很多，如 Rana and Vickson[18]、Cho and Perakis[19]、Powell and Perakis[20]、Sambracos et al.[21]、盧華安[22]、盧華安與徐育彰[23]、陳春益與邱明琦[24]、郭塗城與朱經武[25]等，特別是 Ronen[26, 27] 與 Christiansen et al.[28]每隔十年就彙整分析所有海運規劃文獻，以前瞻未來研究方向，因此 2004 年前絕大部份的航運規劃文獻均彙整於其文章中。在此，回顧上述文獻的主要內容。

1. Rana and Vickson[18]

探討往復式網路型態下之定期貨櫃船航線安排問題，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。

2. Cho and Perakis[19]

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航線安排策略。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。

3. Powell and Perakis[20]

發展一整數規劃(IP)模式處理船隊部署問題。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。模式的目標函數為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。

4. Sambracos et al.[21]

以希臘愛琴海為例，研究在島嶼網路中以小型貨櫃船運送貨物的問題。文中針對此一沿海貨物運送問題(Coastal Freight Shipping Problem, CFSP)，提出以兩個維度來處理。首先，在策略規劃維度，提出以線性規劃(LP)模式來進行分析，在已知的供給與需求限制條件下，最小化總燃油成本與港灣費用，以決定船舶交通量；然後，在營運維度，提出以車輛路線安排問題(VRP)的數學模式決定出較實際的船隊規模。

5. 盧華安[22]

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，其中除考量航線安排、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。

6. 盧華安與徐育彰[23]

構建一個混合整數規劃模式，從諸多候選方航線中挑選出最佳航，並同時進行船隊部署配置，以追求利潤最大化之營運目標。構建之模式除能達到部署適當船舶與選擇經營航線之決策外，亦能反映各港口間貨櫃載運分派(carried container allocation)之規劃。在基本之部署模式中，亦能選擇性加入若干服務品質限制，有助於航商面對現實托運市場之業務考量。

7. 陳春益與邱明琦[24]

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，據以構建一貨櫃航線網路設計模式，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。

8. 郭塗城與朱經武[25]

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。

9. Ronen[26]

回顧 1983 年前有關於貨物船運的航線安排、船期安排文獻，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。有關於車輛路線安排問題的研究很多，但少有研究探討船舶的航線安排問題。文中首先就車輛路線安排與船舶航線安排間的差異做探討，並說明為何較少人研究船舶航線安排問題。其次，作者依船舶航線安排問題的特性，提出一個定義問題型態的分類方式。然後回顧相關文獻，將航線安排、船期安排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，討論船期安排的趨勢、既有模式的缺點與實際模式的需求。

作者指出船舶航線與船期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)船舶航線安排問題的變異性較大，不像車輛路線安排問題的架構較明確。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。作者按船舶航線安排、船期安排問題的相關特性，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，可知船舶航線安排、船期安排問題極為複雜、變異很大。

10. Ronen[27]

回顧 1993 年前十年內有關船期安排的相關文獻，並分析相關研究的趨勢，提出未來研究的方向與課題。其將船期安排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、船舶路線安排問題，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，使得計算能力大為提升，造成船期安排問題的研究發生許多改變，有(1)過去由大型電腦處理的船期安排問題，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)對於實際船期安排問題求最佳解變得可行。在過去十年運用作業研究(OR)方法來處理船期安排問題的深度與廣度均增加。最後，他強調船期安排是一個極有潛力的研究領域，適當的船期安排可以改善營運的經濟性。

11. Christiansen et al.[28]

回顧 2004 年前十年內有關航線安排與船期安排的文獻，並闡述航運發展趨勢以指出未來的研究方向與需求。在文獻回顧方面，由於航線與船期安排問題與許多其他的船隊規劃問題關係密切，因此將 60 篇左右的文獻分為數個部份來探討。首先，由策略性(strategic)的船隊規劃層級開始，討論船隊與海運系統的設計；其次，到營運策略性(tactical/operational)的船隊規劃層級，探討各種船舶航線與船期安排的問題，在此將工業用船、不定期船與定期船三運具分開討論。最後，回顧在海運上的應用與

不屬於上述分類的其他相關問題。作者並提出一些未來航運業的發展趨勢，這些趨勢顯示未來使用最適化決策支援系統的需求日益提高，以及使用決策支援系統的效益。

一般航運規劃文獻彙整於表 5。



表 5 一般航運規劃文獻彙整

作者	研究特色
Rana and Vickson[18]	探討往復式網路型態下之定期貨櫃船航線安排問題，並建立模式求解。
Cho and Perakis[19]	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航線安排策略。
Powell and Perakis[20]	發展一整數規劃模式處理船隊部署問題。
Sambracos et al.[21]	以希臘愛琴海為例，提出以線性規劃模式與 VRP 問題的數學模式，研究在島嶼網路中以小型貨櫃船運送貨物的問題。
盧華安[22]	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。
盧華安與徐育彰[23]	構建一個混合整數規劃模式，進行航線選擇與船隊部署配置，以追求利潤最大化之營運目標。
陳春益與邱明琦[24]	構建一貨櫃航線網路設計模式，以協助航商以進行航線規劃設計作業。
郭塗城與朱經武[25]	發展一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。
Ronen[26]	回顧 1983 年前有關於貨物船運的航線安排、船期安排相關文獻，對問題與模式做深入探討。
Ronen[27]	回顧 1993 年前十年內有關船期安排的相關文獻，並分析相關研究的趨勢，以提出未來的研究方向與課題。
Christiansen et al.[28]	回顧 2004 年前十年內有關航線安排與船期安排的文獻，並闡述航運發展趨勢以指出未來的研究方向與需求。

註：本研究根據表列文獻整理。

2.4 船舶規模之相關研究

關於船舶規模的研究主要分析船型大小與航運成本之關係，探討船型的規模經濟性。按船舶規模經濟理論，隨船舶增大，船舶的平均航行成本呈遞減的趨勢，發生規模經濟的現象，但是船舶的平均滯港成本呈遞增的趨勢，發生規模不經濟的現象，此兩項成本使得船舶平均總成本(total costs per ton)曲線呈一 U 型分佈，即船舶平均成本先隨船舶增大而減少，當船舶超過某一臨界值(最適船型)之後，平均成本反呈遞增趨勢，如圖 7。

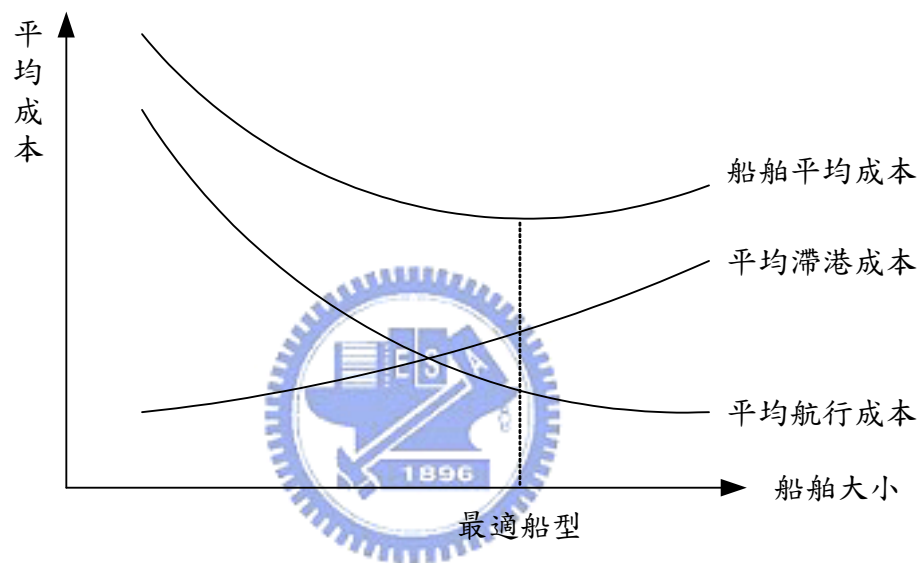


圖 7 船舶規模經濟理論

相關文獻極多，如 Jansson and Shneerson[29]、董孝行[30, 31]、Cullinane and Khanna[32, 33]等。董孝行[30]蒐集實際地船舶成本資料構建迴歸模式，校估貨櫃船資本成本、營運成本、燃油成本、碇泊成本與租賃成本的彈性，以實際數據說明貨櫃船的船舶大小與平均成本之關係，指出貨櫃船的大型化有一定的極限，限制船舶大型化的主要因素在於船舶滯港時其平均裝卸成本呈現規模不經濟的現況，清楚地闡釋船舶規模經濟理論。

董孝行[31]並進一步探討貨櫃船的最適船型理論，應用以預測世界各主要定期航線未來貨櫃船型之發展趨勢。基於貨櫃船平均成本與船舶大小之關係曲線呈一 U 型分佈，存在一個平均成本最小的船型臨界值，當船型小於臨界值時，平均成本會隨船型加大而遞減，當船型超過了臨界值後，平均成

本隨船型加大而遞增，此一臨界值即為最適船型。其分別分析遠東—美東、遠東—美西、遠東—歐洲、美東—歐洲等主要定期貨櫃航線，估算出各航線的最適船型，並提出一個「最適船型臨界區」的概念。其定義平均成本曲線之絕對值小於 0.01 之區域為最適船型臨界區，認為在區域內的平均成本差距甚微，甚至可以忽略不計，該觀念頗較具實務價值。此外，文中進行敏感度分析，討論各項變數對最適船型之影響。結果顯示當資本成本、營運成本、燃油成本、航程、滯港非裝卸時間、平均橋式機數目、貨櫃容量等變數愈大，船型臨界值愈大，承載率、租櫃成本、貨櫃貨物機會成本等變數愈大，船型臨界值愈小。

Jansson 與 Shneerson[29]兩人合著「Liner Shipping Economics」一書，書中第五章亦在分析航運成本與船舶大小間的關係。作者在分析時將航運成本分為兩類，一為貨物成本(cargo cost)，與貨物量多寡成正比，一為與時間長短成正比的成本，如燃油成本是最主要的海上成本，而與靠泊時間成正比的港埠費用則發生在港口。然後，作者將船舶輸出的能量(capacity)分為裝載能量(holding capacity)、裝卸能量(handling capacity)與運送能量(hauling capacity)，分別表示船舶可裝載的最大貨量、單位時間船舶可以裝卸的貨量，以及單位時間船舶運送貨物的延噸哩。雖然成本的分類方式不同，但船舶規模經濟之結果相同。研究指出隨著船舶愈大，每噸貨物的運送成本(hauling cost)降低，裝卸處理成本(handling cost)增加，兩成本間的權衡取捨，可求得每噸貨物的每日總時間成本最小之最適船舶大小。作者亦蒐集船舶成本資料，以迴歸分析法估算裝卸處理能量、運送能量與各成本要素的船舶大小彈性。

該書不僅探討航運成本與船舶大小之關係，並探討定期船服務的最適化問題。在海運貿易量已知的情況下，探討如何運送可以達到成本最小的目的？作者指出：在貿易量大的地方(dense trade sector)，由船東的直接航運成本最小之情況，可決定最適船舶設計與定期船服務。而在貿易量小的地方(thin-trade sector)，必須將貨主的存貨成本與支線運輸成本視為航運成本的一部份。當不能安排一個港對港(port-to-port)或國對國的定期船服務時，產生了貿易量小(thin-trade)的問題，在此時為了保持一個適當的航行頻率，必須要擴大一端或兩端的集貨區(cargo catchment area)，此一問題可以用下列數學式表示：

$$N = \frac{Q(A_1, A_2)}{S} \quad (4)$$

式中 N ：總航行頻次； A_1, A_2 ：貿易集貨區； Q ：總貨物量； S ：船舶大小(航線上船舶的平均裝載能量)。

一般常將航行頻次視為一個常數，當航行頻率小於二週一次或每週一次時，將被認為不適當。在此方法下，研究者先決定一個適當的航行頻率，然後調整集貨區與船舶大小，找出符合限制的最佳方式。作者則認為將此定期船服務設計問題視為“航運成本”與“船舶運輸量在時間與空間合併的成本(shipload consolidation in time and space)”間的替代(trade-off)問題，是比較有效的處理方法，而後者的成本主要由貨主所承擔。為了解船舶大小的航運成本經濟性亦存在貿易量小的地方，可藉由擴大集貨區或增長航行週期以達到滿載。增大貿易集貨區將會造成支線運輸成本增加。當服務的港埠增加時，將面對多港靠泊與往返運送間的選擇問題。航行頻率是貨主負擔成本的一個決定因素，當航行頻率較低時將增加貨主的存貨成本。

在給定貿易量下，求取船東成本、港埠成本與貨主成本總合最小之情況，如同利潤最大，也是一個經濟有效的情況。這提出了對航運與港埠做調整的問題。最後，作者將先前討論的各部份結合在一起，成為一個定期船貿易的綱要模式，模式同時最佳化船舶大小、集貨區、靠泊港口與航行頻率。並測試航線距離、貿易密度等航線特性對定期船服務之最佳設計與貨運成本之影響。特別要說明的是，作者由定期船同盟(liner conference)的觀點來探討問題，也就是說，所有的航運航線均加以考慮。此外，貨主成本視為總成本之一部份，由運送服務的總供給來決定。

近來 Cullinane and Khanna[32]發現在定期航運上貨櫃船的船型顯著增加，這個趨勢違反了先前由經濟效益推論的最大船型。其重新以新的貨櫃船成本資料(Fairplay computer database, 1995.1~1996.4)來估算各項成本的彈性。研究結果與先前的研究結果相較，得到當貨櫃船小於 1,500TEU 時，滯港成本沒有規模不經濟的現象，當貨櫃船大於 1,500TEU 時，滯港成本雖有規模不經濟的現象，但沒有先前研究結果顯著，作者推論這個差異應是這些年來港埠生產力改善的影響。他們的研究結果指出：貨櫃船營運的經濟性受到港埠生產力的影響，若不考慮技術限制，各航線的最適船舶大小將如同過去一般繼續增加。Cullinane and Khanna[33]並進一步提出一個可反應大型貨櫃船規模經濟的模式，分析在不同情境下的最適船舶大小。

關於船舶規模的研究除分析船舶的規模經濟性外，早期 Carascostas[52]曾透過經濟分析，針對貨櫃船的船舶規模、航速與服務船舶艘數做探討。此外，並有部份文獻針對船舶大型化的影響作探討。例如：McLellan[34]曾針對超大型貨櫃船對於港埠設施、設備的衝擊做探討。他指出雖然整個船運量在增加，但近幾年船舶大型化的趨勢已經減緩。當船型增大時，相對應的港埠水深、裝卸設備、後線場地均要隨之增加，這並不容易，所以未來船舶可能不會增大太多。Lim[35]從合作競爭策略運用的角度來探討貨櫃船大型化對航運市場之衝擊，他提出建造超大型貨櫃船具有理論上規模經濟的適當性，然這些大型船舶建造的結果卻造成世界主要航線的船噸過剩。當主要營運者將較新、較大的船舶投入營運，將使得該航線的單位貨櫃成本下降，營運者卻無法獲得成本節省的利益，因為運費費率下降得比成本減少還多。如果每個航商持續投資新船以降低成本，造成運費下降，造成產業將無法獲得適當的收益。本質上，實行規模經濟不是萬靈丹，航商合作才是比較好的方法。Robinson[36]、王克尹[37]、郭石盾[38]等文獻則由目前的貨櫃航運發展趨勢，預測超大型貨櫃船未來的航運服務定位應在服務主要的、大運量的航線，而灣靠港口數目將減少。船舶規模之相關文獻彙整於表 6。



表 6 船舶規模相關文獻彙整

作者	研究特色
Jansson and Shneerson [29]	詳細說明航運成本與船舶大小間的關係。
董孝行[30]	蒐集實際地船舶成本資料構建迴歸模式，校估貨櫃船的成本彈性，闡釋船舶規模經濟理論。
董孝行[31]	實際蒐集貨櫃船資料，應用最適船型理論預測世界各主要航線船型之發展趨勢。
Cullinane and Khanna [32]	由於港埠生產力改善，使得貨櫃船每 TEU 貨櫃平均滯港成本之規模不經濟現象不顯著，各航線的最適船型呈增大之趨勢。
Cullinane and Khanna [33]	提出可反應大型貨櫃船規模經濟的模式，分析在不同情境下的最適船舶大小。
Carascostas[52]	透過經濟分析，針對貨櫃船的船舶規模、航速與服務船舶艘數做探討。
McLellan[34]	針對超大型貨櫃船對於港埠設施、設備的衝擊做探討。
Lim[35]	從合作競爭策略運用的角度來探討貨櫃船大型化對航運市場之衝擊。
Robinson[36]、王克尹 [37]、郭石盾[38] 等	由目前的貨櫃航運發展趨勢，預測超大型貨櫃船未來的航運服務定位。

註：本研究根據表列文獻整理。

2.5 軸輻網路之相關研究

目前軸輻網路在航空客運網路、航空貨運與快遞運輸網路、網際網路、通訊網路等方面均大為風行。在海運上，隨著全球經濟的發展與貿易活動的熱絡，航運市場日趨繁榮，從事遠洋業務的定期貨櫃船公司亦發展出海運的軸輻網路，即在航運網路中選擇數個港埠為轉運中心，以大型貨櫃船—母船行駛轉運中心與轉運中心間的主航線，而以小型貨櫃船—集貨船行駛轉運中心與地區港埠(集貨港)之間。主航線服務洲際間貨物往來，主要有越太平洋航線、越大西洋航線、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—印尼泗水集貨航線等。

軸輻網路不同於一般網路，O'Kelly [53]指出軸輻網路在節點位置(location of node)、連接(linkage)、腹地與服務區域(hinterlands and service regions)、層級(hierarchy)等四方面有其獨特性。在節點位置方面，軸輻系統的節點位置會因系統為運送系統(delivery system)或吸引使用者系統(user attracting system)而有差異，在運送系統中設施位置與運送路線的安排均由運送者決定，而在吸引使用者系統中設施位置由運送者決定，但運送路線由使用設施的大眾決定，在此系統下規劃者必須對於大眾如何使用設施做一些合理的假設。以空運為例，航空貨運系統可視為運送系統，因為營運者決定配送中心(sorting center)的位置，且完全掌控運送路線的安排，而航空客運系統可視為吸引使用者系統，因為軸心(hub)位置與運送路線雖同樣由營運者決定，但營運者在安排運送路線時無法忽視旅客行為以及轉運對旅客不便利的影響。

在連接方面，一般網路模式的成本通常會隨著路段(link)的擁塞而增加，但軸輻網路的成本卻是愈擁塞而愈下降，存在流量規模經濟的特性，例如在軸輻航空網路中的主航線使用大型飛機，將使單位運送成本下降。此一特性使得傳統以最短路徑法(the shortest path)決定最佳運送路線之方法在軸輻網路不適用，軸輻網路的路線安排問題變得相當複雜。在腹地與服務地區方面，典型的區位模式通常假設服務由最近的設施提供，且各設施的服務地區不重疊，但在軸輻系統中服務不一定由最近的設施提供，且各設施的服務地區可能相互重疊。在層級方面，軸輻系統至少分為兩層，且軸心較易成為經濟活動的集結點。

過去在運輸領域關於軸輻網路的研究大多針對航空運輸做探討，相關的文獻極多，依研究主題可分為二方面：一是就作業研究方面做探討，為決定軸輻網路中的軸心位置與運送路線，研究者構建數學模式、提出求解方法；二是就軸輻網路的經濟層面問題做探討，著重分析軸輻系統的規模經濟特性、路線指派特性、人貨集結特性。

在作業研究方面的文獻，最重要的研究課題是軸心區位問題(hub location problem)，相當多的文獻針對此一問題或近似問題提出數學模式與求解方法。軸心區位問題(hub location problem)又稱為 p-hub median problem 或 p-hub location problem，考慮在一個 n 個節點(node)的網路中，已知任二節點間的流量需求與單位旅行成本，在總旅行成本最小之要求下，決定出 p 個軸心(hub)的位置，並將所有非軸心(nonhub)連接到軸心(hub)上。此一問題的數學模式最早由 O'Kelly[42]在 1987 年提出單一指派的二次(quadratic)整數規劃模式，而後 Campbell[54]在 1994 年提出可同時處理單一指派與多重指派的整數規劃模式，其後模式略有變動與修改。演算法之發展是先提出啟發式解法，有列舉法、交換法、tabu search 法、貪心法與 lower bound 之研究，而後提出求最佳解(exact solution)之方法，可處理規模較小($n < 25$)的問題。關於軸心區位問題的研究發展沿革整理如表 7。

表 7 軸心區位問題的研究發展沿革

作者(時間)	問題演進
O'Kelly(1987)[43]	首先為軸心區位問題構建一個二次的整數規劃數學式，並提出二種以列舉法(enumeration)為基礎的啟發式解法。
Klincewicz(1991)[55]	提出二種啟發式解法：交換法(exchange heuristics)與分群法(clustering heuristics)。
Klincewicz(1992)[56]	提出以 tabu search 與 greedy randomized adoptive search procedure(GRASP)為基礎的二種啟發式解法。
Skorin-Kapov & Skorin-Kapov(1994)[57]	提出一個以 tabu search 為基礎的啟發式解法，方法不同於先前 Klincewicz 所提。
Campbell(1994)[54]	構建整數規劃之數學模式，可以處理單一指派或多重指派之情況。
O'Kelly et al. (1995)[58]	提出軸心區位問題的 lower bound。
Campbell(1996)[59]	提出二種以貪心交換法為基礎的啟發式解法。
O'Kelly et al. (1996)[60]	提出最佳解(exact solution)。
Skorin-Kapov et al. (1996)[61]	提出一個以 tight linear programming relaxations 為基礎的數學模式，提出之最佳解演算法可求解至 25 個 node。
Sohn and Park (1998) [62]	提出減少單一指派模式變數數目與限制式的數學式，並提出以最短路徑法求解 p 值的多重指派模式。
O'Kelly and Bryan (1998)[63]	提出在既有模式中加入一片斷式(piece-wise)線性成本函數，使模式能反應流量規模經濟特性。

註：本研究整理。

軸心區位問題並衍生出一些近似問題，如 uncapacitated hub location problem(UHP)。UHP 問題考慮軸心(hub)有固定的建造成本，且軸心數量沒有事先給定，在模式中為一決策變數，數學模式最早由 O'Kelly 在 1992 年提出 UHP-S (S：單一指派)問題的二次式(quadratic)的整數規劃模式，而後 Campbell[54]在 1994 年提出 UHP 問題的整數規劃數學模式，UHP 問題的求解法有 Klinecicz[64]、Abdinnour-Helm[65]等研究者提出。此外，尚有 Aykin[66, 66, 68] 將一些網路策略納入模式內，構建較複雜的模式；Jaillet et al. [69]構建不同的數學模式來分析軸輻航空網路，其模式可由指派流量的結果決定軸心位置。

在經濟層面方面的文獻，研究課題較廣泛，相關文獻亦不少。如 O'Kelly[53]由空間觀點探討軸輻系統的特性，指出單一指派模式較適用於通訊系統或區域性貨運系統，多重指派模式較適用於客運系統；許巧鶯與王志青[5]探討當航空公司採用軸輻航空網路後，是否所有航線均透過空運中心轉運，抑或部份航線應獨立於系統外；許巧鶯與蕭國洲[6]由運送成本比較來探討廠商在空運中心設立轉運站進行轉運之課題；Oum et al.[70]指出在軸輻網路中對於空運中心(hub)與地區性機場(spoke)的需求是互補的，機場定價制度應由各機場獨自定價改為由空運中心與地區性機場共同定價；Pels et al. [71]由機場定價策略的觀點探討機場設施與航空公司間的替代性與互補性。

在海運方面，國內外頗多文獻針對一般網路的船舶排程、船隊部署與船舶排班等課題，但論及軸輻網路之文獻不多，但隨著實務上軸輻網路的盛行，逐漸有文獻探討相關課題。如 Robinson[36]以 hub/feeder networks 稱軸輻海運網路，其由過去的歷史發展推測遠東地區的港口與航運網路演變，推論未來在遠東地區軸輻系統之運作方式仍會持續下去，但不同層級的港口會朝不同方向發展，層級高的港口(軸心港)的成本與效率會更高，而層級低的港口(地區性港埠)會進行市場區隔而各自尋找利基。Bendall and Stent[39]在構建高速貨櫃船之船期安排模式時，以高速貨櫃船提供軸輻系統之近洋航運服務為例做分析；Mourão et al.[40]構建軸輻網路之船舶指派模式，模式中以限制條件處理軸輻網路的轉運特性；謝尚行與張斐茹[41]以 O'Kelly[42, 43]的軸輻航空網路模式為基礎，將貨櫃母船與子船之單位運送成本之比率定義為折扣率(discount rate)，結合海運軸心港、集貨港、主幹線、輻線之特性，建立一個以網路總運送成本最小為目標之模式，分析軸輻海運網路的航線佈設及軸心港選擇問題。謝尚行、游至誠與王賢崙[44]進一步針對張斐茹所提

出的模式做支線指派改善，發展出允許集貨港與軸心港不直接相連的模式。

此外，戴輝煌[72, 73]與王鴻仁[74]探討貨櫃轉運與轉運中心選擇問題：戴輝煌[72]建立航商選擇轉運中心之成本模式，分析貨櫃以高雄港或香港轉運之成本較低，其成本模式考慮到船舶的規模經濟、轉運港的港埠成本與效率、航行距離等因素對轉運中心選擇之影響；王鴻仁[74]針對航商以高雄港為貨櫃轉運中心之需求作探討，運用戴輝煌[72]建立之平均成本節省(ACS)模式分析馬尼拉港、胡志明港、青島港、廈門港等集貨港的貨櫃會透過高雄港、香港或上海港轉運。而後，戴輝煌[73]並運用平均成本節省(ACS)模式分析西太平洋地區樞紐港埠之選擇。軸輻海運網路之相關文獻彙整於表 8。



表 8 軸輻海運網路相關文獻彙整

作者	研究特色
Robison[36]	以敘述性的方式依過去航運發展史推測未來在遠東地區軸輻海運系統之運作趨勢。
Bendall and Stent[39]	在構建高速貨櫃船之航班安排模式時，以高速貨櫃船提供軸輻系統之近洋航運服務為例做分析。
Mourão et al.[40]	構建軸輻網路之船舶指派模式，模式中以限制條件處理軸輻網路的轉運特性。
謝尚行與張斐茹[41]	以 O'Kelly[41, 42]的軸輻航空網路模式為基礎，考慮海運特性以建立模式，分析軸輻海運網路的航線佈設及軸心港選擇問題。
謝尚行、游至誠與王賢崙[44]	針對張斐茹所提出的模式做支線指派改善，發展出允許集貨港與軸心港不直接相連的模式。
戴輝煌[72]	建立航商選擇轉運中心之成本模式，分析貨櫃以高雄港或香港轉運之成本較低。
王鴻仁[74]	運用戴輝煌[72]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分析。
戴輝煌[73]	運用平均成本節省(ACS)模式分析西太平洋地區樞紐港埠之選擇。

註：本研究根據表列文獻整理。

軸輻海運網路與軸輻航空網路相似，在轉運中心具有集結貨物的作用，且在轉運中心與轉運中心間的主航線具有流量規模經濟的特性。不過，軸輻海運網路有其海運的獨特性，其與空運最大的差異在運送方式，空運服務以提供兩機場往返的運送服務為主要運送方式，部份航線停靠三或四個機場，但少有航線的停靠機場超過四個機場，而海運服務以提供多港靠泊的航線為主要運送方式，部份運送需求高的起迄點才提供二港往返之運送服務。此外，海運與空運在節點位置、航線安排、運送對象、運具特性等方面均有所差異：在節點位置方面，空運機場可以設在內陸任意位置，而海運港口只能設在海岸邊無法深入內陸；在航線安排方面，若不考慮領空權，飛機可以飛任意最短距離之航線，而船舶只能航行在水域；在運送對象方面，空運運送乘客與貨物，而船舶以運送貨物為主；在運具特性方面，飛機的飛航速度快、載運量小，而船舶的航行速度慢、載運量大。在分析軸輻海運網路時必須要考慮到海運的特性。

2.6 綜合評析

綜合上述說明，可知貨櫃運輸始於第二次世界大戰，由於美軍為運輸龐大的軍需品至世界各地而發展出來，自 1957 年推廣至商業用途，而後貨櫃運輸日趨熱絡。近年來貨櫃運輸成長快速，全球港口貨櫃裝卸量在 2003 年為 3 億 1700 萬 TEU，預估至 2009 年將達到 5 億 2800 萬 TEU，其中遠東地區的佔有率最大，且預期未來的成長率亦高於全球成長率。全球各主要區域間的貨櫃流量以東西向流量較大，南北向流量相對較少。東西向的流動以遠東與北美地區間的流量最大，遠東與歐洲間的流量其次，北美與歐洲間的流量第三。在船舶供給方面，全球貨櫃船的總船舶能量在 2005 年達 802 萬 TEU，多集中在主要貨櫃航商手中。未來的貨櫃航運網路將朝向輻輳網路發展，貨櫃船將更趨大型化，而航商與航商之間的合作聯營將更趨密切。

關於存貨成本的概念源於物流研究的 EOQ 模式，運輸學者們進一步將此 EOQ 模式的存貨成本概念擴展至運輸服務的成本分析與決策上，如：Daganzo[2]、Blumenfeld et al.[3]、Hall[4]、許巧鶯與王志青[5]與許巧鶯與蕭國洲[6]等。在海運上，過去亦有論及存貨成本之文獻，如 Jansson and Shneerson[7]與 Pope and Talley[8]等。惟其所定義的存貨成本係指貨主、購買商或進口商所負擔的所有貨物存貨成本，除考慮貨物的時間成本外，尚考慮到存貨的管理與控制，而本研究所指稱的存貨成本，係延續 Daganzo[2]從貨

物的角度來分析，僅探討貨物在由起點至終點的運送過程中所發生的存貨成本，不考慮存貨的管理控制策略。

過去關於航運規劃的文獻大多針對一般網路的航線安排、船隊部署與船期安排課題做探討。如 Rana and Vickson[18]、Cho and Perakis[19]、Powell and Perakis[20]、Sambracos et al.[21]、盧華安[22]、盧華安與徐育彰[23]、陳春益與邱明琦[24]、郭塗城與朱經武[25]、Ronen[26, 27]、Christiansen et al.[28]等。這類研究著重於應用網路模式構建數學規劃模式與設計求解方法，通常為單一目標規劃，且針對一般網路做探討，不考慮軸輻網路之規模經濟特性與貨物轉運特性，對於船型與頻次決策亦少有著墨。而本研究則是發展一個以航運成本與存貨成本最小化之雙目標模式，在考慮軸輻海運網路特性下，進行貨櫃運送之路線、船型與頻次決策分析，可使得航商決策更具彈性，獲得較佳的規劃結果。

關於船型研究的文獻主要分析船舶大小與航運成本之關係，探討船舶的規模經濟性。研究的理論基礎為：隨著船舶增大，平均航行成本呈遞減趨勢具有規模經濟的現象，而平均滯港成本呈遞增趨勢具有規模不經濟的現象，由最小化兩成本之和可求得船舶平均成本最低的最適船型。相關文獻很多，如 Jansson and Shneerson[29]、董孝行[30, 31]、Cullinane and Khanna[32, 33]等。這類研究由船舶供給或操作面說明航運經濟性，大多未考慮貨物載運量或貨主需求之影響，而本研究構建與貨物載運量、船舶大小相依的成本函數，據以推導船型決策臨界點隨貨物載運量變動的數學關係式，顯示船型決策隨貨物載運量增加而傾向採用大型貨櫃船之趨勢，以說明航商傾向採用大型貨櫃船或藉由聯營合作以降低航運成本之實務現況。

此外，部份文獻針對船舶大型化的影響作探討。例如：McLellan[34]針對超大型貨櫃船對於港埠設施、設備的衝擊做探討；Lim[35]從合作競爭策略運用的角度來探討貨櫃船大型化對航運市場之衝擊；Robinson[36]、王克尹[37]、郭石盾[38]等文獻則由目前的貨櫃航運發展趨勢，預測超大型貨櫃船未來的航運服務定位應在服務主要的、大運量的航線，而灣靠港口數目將減少。上述文獻在探討船舶大型化時，著重於未來發展趨勢的說明與預測，而本研究則是著重於運用模式探討超大型貨櫃船的航運經濟性，闡述航商傾向採用較大型貨櫃船在航運經濟上的動機，並估算超大型貨櫃船投入營運之經濟營運載運量，分析相關因素對超大型貨櫃船營運競爭力之影響，以協助

航商綜合考量各項成本，決定各航線引入超大型貨櫃船的最佳時機。

論及軸輻海運網路之文獻不多，但隨著實務上的盛行，逐漸有文獻探討相關課題。如 Robison[36]以敘述性的方式依過去航運發展史推測未來在遠東地區軸輻海運系統之運作趨勢；Bendall and Stent[39]在構建高速貨櫃船之航班安排(scheduling)模式時，以高速貨櫃船提供軸輻系統之近洋航運服務為例做分析；Mourão et al.[40]構建軸輻網路之船舶指派(ship assignment)模式，模式中以限制條件(constraints)處理軸輻網路的轉運特性；謝尚行與張斐茹[41]以 O’Kelly[42, 43]發展的軸輻航空網路模式為基礎，考慮海運特性以建立模式，分析軸輻海運網路的航線佈設及軸心港選擇問題；謝尚行、游至誠與王賢崙[44]進一步針對張斐茹所提出的模式做支線指派改善，發展出允許集貨港與軸心港不直接相連的模式。

本研究提出以航運成本與存貨成本最小化為航運服務決策之雙目標，不但將貨物存貨成本視為決策之主要考量因素，以反應貨主需求，並得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。構建與貨物載運量、船型相依的航運成本函數與存貨成本函數，除可以顯示貨物載運量變動對決策之影響，並直接將軸輻海運網路的流量規模經濟效益表現於成本函數中。

第三章 成本函數

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 8 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 8(a))，或部份港在去程與回程時各靠泊一次而部份相同(如圖 8(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。

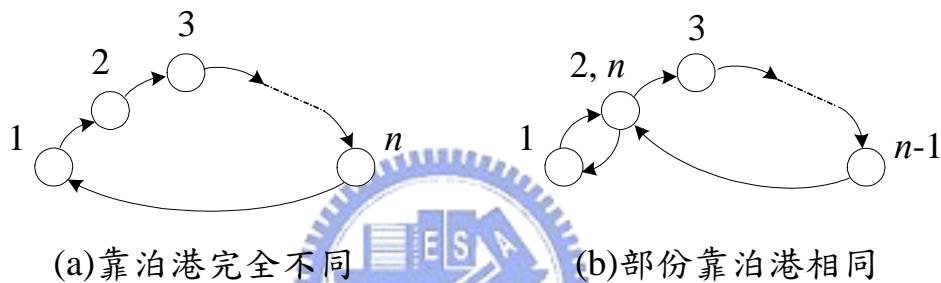


圖 8 定期貨櫃航線之運送路線

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。

3.1 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。

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

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

$$f S_t \sum_{i=1}^n \left(W_i + \frac{D_i}{V_t} \right) + S_t \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_{ij} + Q_{ji}}{R_i} \right) \quad (5)$$

3.1.2 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

$$f \sum_{i=1}^n (F_t D_i + B_{it}) \quad (6)$$

3.1.3 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 α_{it} 與 β_{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(β_{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

$$f \sum_{i=1}^n \alpha_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{\beta_{it}}{R_i} + G_i \right) \cdot (Q_{ij} + Q_{ji}) \right] \quad (7)$$

總航運成本為船舶時間成本(式(5))、船舶燃油成本(式(6))與港埠成本(式(7))三者之和，以 $TC1$ 表示整季的總航運成本，則

$$TC1 = f \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right] \quad (8)$$

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

$$AC1 = \frac{f \sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (9)$$

3.2 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。

3.2.1 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

$$\frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} \quad (10)$$

3.2.2 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：

$$\begin{aligned} T_{ij} &= \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left[W_k + \frac{1}{fR_k} \sum_{l=1}^n (Q_{kl} + Q_{lk}) + \frac{D_k}{V_t} \right] \\ &= \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{1}{f} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{\delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \end{aligned} \quad (11)$$

式中 δ_{ijk} 為0,1變數，

$$\delta_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{起迄為港 } i, j \text{ 之貨物經過港 } k \text{ 與港 } k+1 \text{ 間之航段,} \\ 0, & \text{沒有經過。} \end{cases} \quad (12)$$

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

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

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

$$H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{H}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \quad (13)$$

總貨物存貨成本為等待時間成本(式(10))與航運時間成本(式(13))之和，以 $TC2$ 表示總貨物存貨成本，則

$$TC2 = \frac{91H}{2f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} + H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right) + \frac{H}{f} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk}) \quad (14)$$

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

$$AC2 = \frac{91H}{2f} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})}{f \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (15)$$

3.3 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(δ_{ijk})、貨物時間價值(H)、港灣費用之固定費用(α_{ii})、港灣費用之變動費用(β_{ii})、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(α_{ii})、港灣費用之變動費用(β_{ii})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(α_{ii})、港灣費用之變動費用(β_{ii})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(α_{it} 、 β_{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。另一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(9))可改寫如下：

$$AC1 = \frac{f \left[n(\alpha_t + S_t W + B_t) + \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \sum_{i=1}^n D_i \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} + 2 \left(G + \frac{\beta_t + S_t}{R} \right) \quad (16)$$

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。

第四章 船型與頻次決策

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[75])。依此，本研究進一步求得各型船的可行解與柏拉圖最佳解，並在以單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本為座標軸的目標值空間上進行船型與頻次決策分析。

4.1 雙目標替換關係分析

本研究構建的單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本函數為頻次相依函數，任一型船單位貨櫃航運成本隨運送頻次增加而增加，單位貨櫃存貨成本隨運送頻次增加而減少，可反應兩成本間的替換關係。依據兩成本的數學式(式(9)、式(15))，可進一步推導兩成本的數學關係式。首先，基於成本函數因考慮因素多、數學式複雜，先進行變數轉換以簡化。令 γ_t^{11} 表示以 t 型船營運之基本航運成本， γ_t^{12} 表示頻次增加一航次所增加的航運成本， γ_t^{21} 表示以 t 型船營運之基本貨物存貨成本， γ_t^{22} 表示頻次增加一航次所增加的貨物存貨成本。 γ_t^{11} 、 γ_t^{12} 、 γ_t^{21} 與 γ_t^{22} 的數學式如下所示：

$$\gamma_t^{11} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (17)$$

$$\gamma_t^{12} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (18)$$

$$\gamma_t^{21} = \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_t} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (19)$$

$$\gamma_t^{22} = \frac{91H}{2} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk}}{R_k} (Q_{kl} + Q_{lk})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \quad (20)$$

則單位貨櫃航運成本函數與單位貨櫃存貨成本函數可改寫如下：

$$AC1 = \gamma_t^{11} + \gamma_t^{12} f \quad (21)$$

$$AC2 = \gamma_t^{21} + \gamma_t^{22} (f)^{-1} \quad (22)$$

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

$$(AC1 - \gamma_t^{11})(AC2 - \gamma_t^{21}) = \gamma_t^{12} \gamma_t^{22} \quad (23)$$

式(23)明確顯示兩成本間的反向變動關係。對任一型船而言，當貨物載運量、船舶相關參變數與港埠相關參變數均不變時，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_t^{11} (AC1 → γ_t^{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_t^{21} (AC2 → γ_t^{21})。

式(23)的數學式為基本的數學函數——雙曲線函數，雙曲線如同圓形、橢圓形、拋物線等數學圖形，具有中心點、頂點、焦點、焦距、漸近線等特性，故只要導出函數的數學式，即可決定這些特性，將曲線精確顯示在二維圖上。因此，在以單位貨櫃存貨成本(AC2)為橫軸、單位貨櫃航運成本(AC1)為縱軸的二維目標值空間上，依式(23)之數學式可得到雙曲線的中心點為 $(\gamma_t^{21}, \gamma_t^{11})$ 、頂點為 $(\gamma_t^{21} + \sqrt{\gamma_t^{12} \gamma_t^{22}}, \gamma_t^{11} + \sqrt{\gamma_t^{12} \gamma_t^{22}})$ 、漸近線為 $(AC1 - \gamma_t^{11} = 0$ 、 $AC2 - \gamma_t^{21} = 0)$ 、焦距為 $\sqrt{2\gamma_t^{12} \gamma_t^{22}}$ ，以精確繪出雙曲線圖形，如圖9所示。此一雙曲線不僅表示任一t型船之單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本的關係(以下簡稱為成本關係曲線)，亦表示t型船的所有運送頻次方案。不過，由於船舶容量有限，在容量限制下任一t型船的運送頻次(f)必大於或等於航段

載運量最大值($Max_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}$)除以船舶容量(U_t)，即 $f \geq \frac{Max_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{U_t}$ 。令 f_t^{\min}

表示t型船的最小運送頻次， $f_t^{\min} = \frac{Max_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{U_t}$ ，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，目標值空間上 $(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$ 點以最小運送頻次點稱之。由 $\overline{AC1}_t$ 是單位貨櫃航運成本最小值(以下以最小單位貨櫃航運成本稱之)、 $\overline{AC2}_t$ 是單位貨櫃存貨成本最大值，得到任一 t 型船的頻次可行解位於成本關係曲線之最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$ 左上方的實線部份，如圖9所示。

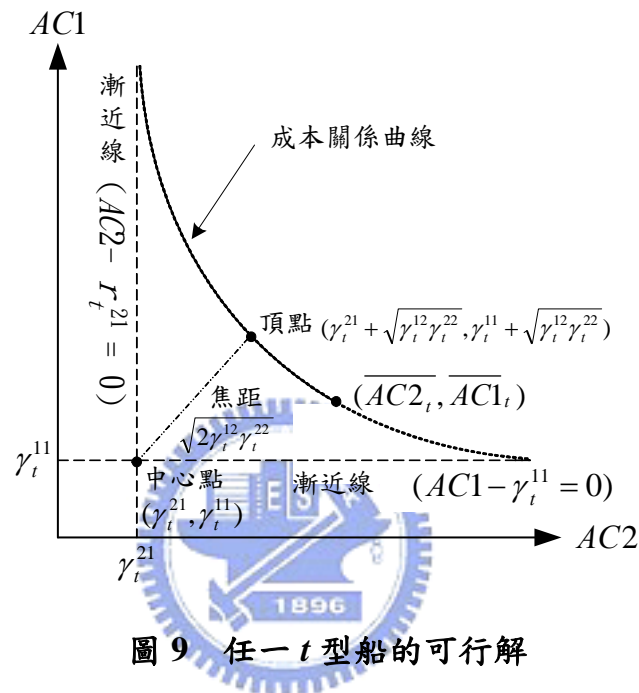


圖9 任一 t 型船的可行解

實線上各點代表 t 型船在不同頻次時的單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本。其中以最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$ 的單位貨櫃航運成本最低、單位貨櫃存貨成本最高，若航商在規劃航運服務時僅考慮單位貨櫃航運成本而不在乎單位貨櫃存貨成本的大小，即以單位貨櫃航運成本最小化為航運規劃之單一目標，在此情況下，最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$ 的單位貨櫃航運成本最低，為航商安排運送頻次的最佳選擇。不過，在實際航運市場中，航線頻次若低於兩週一班將無法被貨主接受，且航商必須提供足以與市場競爭者相抗衡的航運服務，因此，航商可能不採用單位貨櫃航運成本最低的最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_t, \overline{AC1}_t)$ 提供服務，而選擇其他單位貨櫃存貨成本較低、單位貨櫃航運成本較高的運送頻次可行解。

接下來特別針對最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)的特性做探討與說明。由

$$f_t^{\min} = \frac{\text{Max}_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{U_t} \text{轉換為 } \text{Max}_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} \left(\frac{Q_{ij}}{f_t^{\min}} \right) = U_t, \text{ 可知在一航線以容量 } U_t \text{ 船}$$

提供最小頻次(f_t^{\min})之航運服務時，船舶在載運量最大之航段將達到滿載，即最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)表示船舶於最大載運量航段滿載之單位貨櫃航運成本。故當航線上各航段貨物載運量相同(各航段均滿載)時，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)就是單位艙位成本，而當各航段貨物載運量不同時，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)略高但仍可反應單位艙位成本之意涵。由最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)反應單位艙位成本之意涵，可進一步推論最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)亦相當於船舶規模經濟文獻(如 Jansson and Shneerson[29]、董孝行[30, 31]等中所指稱的船舶平均成本。因為此類文獻在分析時均假設貨物載運量夠大而不致限制船舶增大，即探討船舶滿載情況，與本研究所定義的最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)意義相同。因此，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)原則上應具有船舶規模經濟理論中船舶平均成本的特性。按船舶規模經濟理論，隨船舶增大，船舶的平均航行成本呈遞減的趨勢，發生規模經濟的現象，但是船舶的平均滯港成本呈遞增的趨勢，發生規模不經濟的現象，此兩項成本使得船舶平均總成本(total costs per ton)曲線呈一 U 型分佈，即船舶平均成本先隨船舶增大而減少，當船舶超過某一臨界值(最適船型)之後，平均成本反呈遞增趨勢(如圖 7)。依此，可以推測不同船型的船舶具有大小不同的最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)，任一航線存在一個最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)最小的最適船型，當船舶小於此一船型時，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)隨船舶增大而減少，當船舶大於此一船型時，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_t$)隨船舶增大而增加。

4.2 決策分析

當船型有兩種或兩種以上時，由於港灣費用(α_{it} 、 β_{it})、每日船舶時間成本(S_t)、燃油成本(F_t 、 B_{it})與航速(V_t)等船舶相關參變數因船型而異，使得各型船的成本關係曲線、最小運送頻次點($AC2_t, \overline{AC1}_t$)不相同，各型船可行解落在目標值空間上的不同位置，此時，柏拉圖最佳解為各型船可行解中最接

近原點(0,0)之線段所組成。

在此，以兩種船型之情況為例做說明，分析兩型船成本關係曲線、最小運送頻次點的相對位置，在目標值空間上顯示兩型船的可行解，以決定柏拉圖最佳解。

首先分析兩型船成本關係曲線的相對位置。以下標 $t1$ 與 $t2$ 分別表示小型船與大型船。基於船舶愈大則噸位愈大，造價、耗油量與港灣費用均愈高，可知港灣費用(α_{it} 、 β_{it})、每日船舶時間成本(S_t)、燃油成本(F_t 、 B_{it})等參變數值均以大型船較高，即 $\alpha_{i,t1} < \alpha_{i,t2}$ 、 $\beta_{i,t1} < \beta_{i,t2}$ 、 $S_{t1} < S_{t2}$ 、 $F_{t1} < F_{t2}$ 、 $B_{i,t1} < B_{i,t2}$ 。貨櫃船航速(V_t)一般介於 15~27 節，通常以大型船較快，不過由於新造船隻的引擎設計技術提升，航速往往較大小相同之舊型船快 1~2 節，而且已有相關研究(Bendall and Stent[39])探討以載運量小、航速高(航速>40 海浬/小時)的貨櫃船服務近洋航線，顯示雖然目前的貨櫃船航速多以大型船較快，但亦有少部份小型船的航速略高於大型船，且未來航運市場極可能發展出航速快、運量小的貨櫃船。因此，本研究不僅分析大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)之目前普遍情況，並考慮小型船航速較快($V_{t1} > V_{t2}$)或兩型船航速相同($V_{t1} = V_{t2}$)之情況。

當小型船航速較快($V_{t1} > V_{t2}$)時，由港灣費用(α_{it} 、 β_{it})、每日船舶時間成本(S_t)、燃油成本(F_t 、 B_{it})等參變數值均是大型船較高，可推得

$$\gamma_{t1}^{11} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{i,t1}}{R_i} + \frac{S_{t1}}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} < \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(G_i + \frac{\beta_{i,t2}}{R_i} + \frac{S_{t2}}{R_i} \right) (Q_{ij} + Q_{ji}) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} = \gamma_{t2}^{11} \quad (24)$$

$$\gamma_{t1}^{21} = \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_{t1}} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} < \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} \left(W_k + \frac{D_k}{V_{t2}} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} = \gamma_{t2}^{21} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{t1}^{12} \cdot \gamma_{t1}^{22} &= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{i,t1} + S_{t1} W_i + B_{i,t1} + D_i \left(\frac{S_{t1}}{V_{t1}} + F_{t1} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \left[\frac{91H}{2} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk} (Q_{kl} + Q_{lk})}{R_k}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \right] \\ &< \frac{\sum_{i=1}^n \left[\alpha_{i,t2} + S_{t2} W_i + B_{i,t2} + D_i \left(\frac{S_{t2}}{V_{t2}} + F_{t2} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \left[\frac{91H}{2} + \frac{H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{Q_{ij} \delta_{ijk} (Q_{kl} + Q_{lk})}{R_k}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}} \right] = \gamma_{t2}^{12} \cdot \gamma_{t2}^{22} \end{aligned} \quad (26)$$

由成本關係曲線為雙曲線之特性，可決定目標值空間上兩型船成本關係曲線的相對位置，如圖 10(a)。圖中顯示：小型船曲線的水平漸近線 $AC1 - \gamma_{t1}^{11} = 0$ 位

於大型船水平漸近線 $AC1-\gamma_{i2}^{11}=0$ 下方，小型船曲線的垂直漸近線 $AC2-\gamma_{i1}^{21}=0$ 位於大型船垂直漸近線 $AC2-\gamma_{i2}^{21}=0$ 左側，小型船曲線焦距較大型船短 ($\sqrt{2\gamma_{i1}^{12}\cdot\gamma_{i1}^{22}} < \sqrt{2\gamma_{i2}^{12}\cdot\gamma_{i2}^{22}}$)、小型船曲線中心點 $(\gamma_{i1}^{21}, \gamma_{i1}^{11})$ 與頂點 $(\gamma_{i1}^{21} + \sqrt{\gamma_{i1}^{12}\gamma_{i1}^{22}}, \gamma_{i1}^{11} + \sqrt{\gamma_{i1}^{12}\gamma_{i1}^{22}})$ 均位於大型船曲線中心點 $(\gamma_{i2}^{21}, \gamma_{i2}^{11})$ 與頂點 $(\gamma_{i2}^{21} + \sqrt{\gamma_{i2}^{12}\gamma_{i2}^{22}}, \gamma_{i2}^{11} + \sqrt{\gamma_{i2}^{12}\gamma_{i2}^{22}})$ 左下方，得到兩成本關係曲線不相交、小型船曲線恆低於大型船曲線。

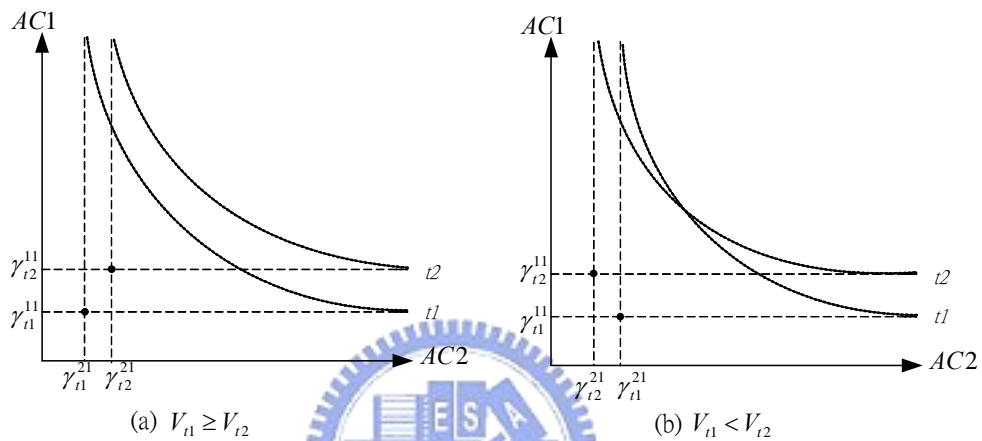


圖 10 兩成本關係曲線之相對位置

當兩型船航速相同($V_{i1}=V_{i2}$)時，同樣由港灣費用(α_{ii} 、 β_{ii})、每日船舶時間成本(S_t)、燃油成本(F_t 、 B_{it})等參變數值均是大型船較高，推論 $\gamma_{i1}^{11} < \gamma_{i2}^{11}$ 、 $\gamma_{i1}^{21} = \gamma_{i2}^{21}$ 與 $\gamma_{i1}^{12}\gamma_{i1}^{22} < \gamma_{i2}^{12}\gamma_{i2}^{22}$ ，可知兩型船曲線之相對位置與小型船航速較快($V_{i1}>V_{i2}$)之圖形相似，均是兩成本關係曲線不相交、小型船曲線恆低於大型船曲線。惟在兩型船航速相同($V_{i1}=V_{i2}$)時，兩型船曲線的垂直漸近線重合，小型船曲線中心點位於大型船曲線中心點的正下方，此二方面不同。

當大型船航速較快($V_{i1}<V_{i2}$)時，由 $\gamma_{i1}^{11} < \gamma_{i2}^{11}$ 、 $\gamma_{i1}^{21} > \gamma_{i2}^{21}$ ，決定目標值空間上兩型船成本關係曲線的相對位置，如圖 10(b)。圖中顯示：小型船曲線的水平漸近線 $AC1-\gamma_{i1}^{11}=0$ 位於大型船水平漸近線 $AC1-\gamma_{i2}^{11}=0$ 下方，小型船曲線的垂直漸近線 $AC2-\gamma_{i1}^{21}=0$ 位於大型船垂直漸近線 $AC2-\gamma_{i2}^{21}=0$ 右側，小型船曲線中心點 $(\gamma_{i1}^{21}, \gamma_{i1}^{11})$ 位於大型船曲線中心點 $(\gamma_{i2}^{21}, \gamma_{i2}^{11})$ 右下方，兩成本關係曲線相交於一點。

綜合上述分析可知：兩型船成本關係曲線的相對位置，依兩者之相對航速分為兩種情形。當小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)時，兩成本關係曲線不相交，且小型船曲線恆低於大型船曲線，而當大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)時，兩成本關係曲線相交於一點。

進一步針對小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)與大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)兩情況分別分析兩最小運送頻次點之相對位置，探討二種船型情況下的柏拉圖最佳解。

1. 小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)

圖 11 顯示在小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)時，於不同的最小運送頻次點之相對位置下的船型與頻次決策分析。圖中以 $\overline{A_1A_1'}$ 、 $\overline{A_2A_2'}$ 表示小型與大型船的成本關係曲線， O_1 、 O_2 表示小型與大型船的最小運送頻次點 $(\overline{AC2_{t1}}, \overline{AC1_{t1}})$ 與 $(\overline{AC2_{t2}}, \overline{AC1_{t2}})$ ， c' 表示大型船曲線 $\overline{A_2A_2'}$ 上單位貨櫃航運成本等於小型船最小單位貨櫃航運成本 $(\overline{AC1_{t1}})$ 之點， c' 點的存貨成本以 $AC2'$ 表示。當小型船的最小單位貨櫃航運成本較小 ($\overline{AC1_{t1}} \leq \overline{AC1_{t2}}$) 時，決策如圖 11(a)，不論 O_1 位於 $\overline{A_1A_1'}$ 上任意位置， O_2 將落在 $\overline{c'A_2}$ 上，柏拉圖最佳解為圖中曲線 $\overline{O_1A_1}$ ，顯示無論如何均以使用船舶時間成本低且最小單位貨櫃航運成本較小的小型船($t1$)較佳；當大型船的最小單位貨櫃航運成本較小 ($\overline{AC1_{t1}} > \overline{AC1_{t2}}$) 時，決策如圖 11(b)， O_2 位於 $\overline{c'A_2'}$ 上，柏拉圖最佳解為圖中曲線 $\overline{O_2c'}$ 、 $\overline{O_1A_1}$ ，顯示在無單位貨櫃存貨成本限制時，以使用最小單位貨櫃航運成本較小 ($\overline{AC1_{t1}} > \overline{AC1_{t2}}$) 之大型船($t2$)較佳，若單位貨櫃存貨成本要求低於 $AC2'$ 時，則改以船舶時間成本較低、運量較小的小型船($t1$)提供較高頻次服務以降低單位貨櫃存貨成本。

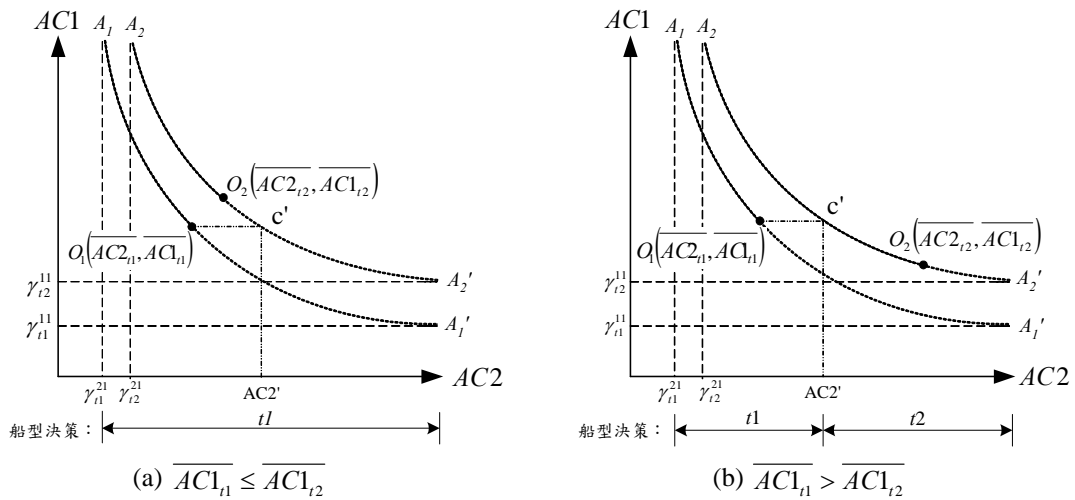


圖 11 兩型船在小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)時的船型與頻次決策

2. 大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)

圖 12 顯示在大型船航速較快($V_{t1} < V_{t2}$)時，於不同之最小運送頻次點相對位置情況下的船型與頻次決策分析。圖中 $\overrightarrow{A_1A_1'}$ 、 $\overrightarrow{A_2A_2'}$ 、 O_1 、 O_2 、 c' 的意義與前述相同，此外，以 E 表示兩曲線交點， E 點單位貨櫃存貨成本以 $AC2''$ 表示，並以 c'' 表示小型船曲線 $\overrightarrow{A_1A_1'}$ 上單位貨櫃航運成本等於大型船最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_{12}}$)之點， c'' 點單位貨櫃存貨成本以 $AC2'''$ 表示。

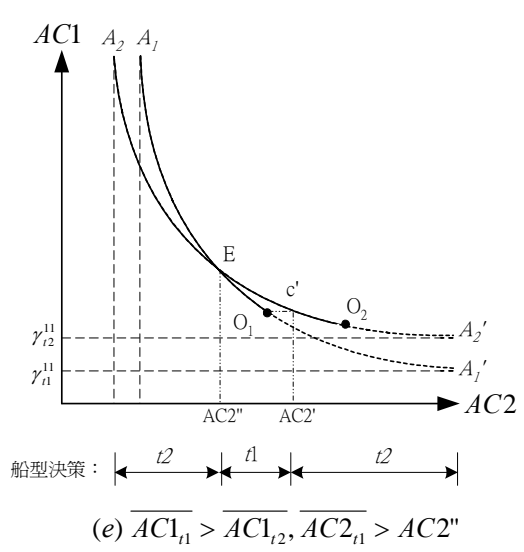
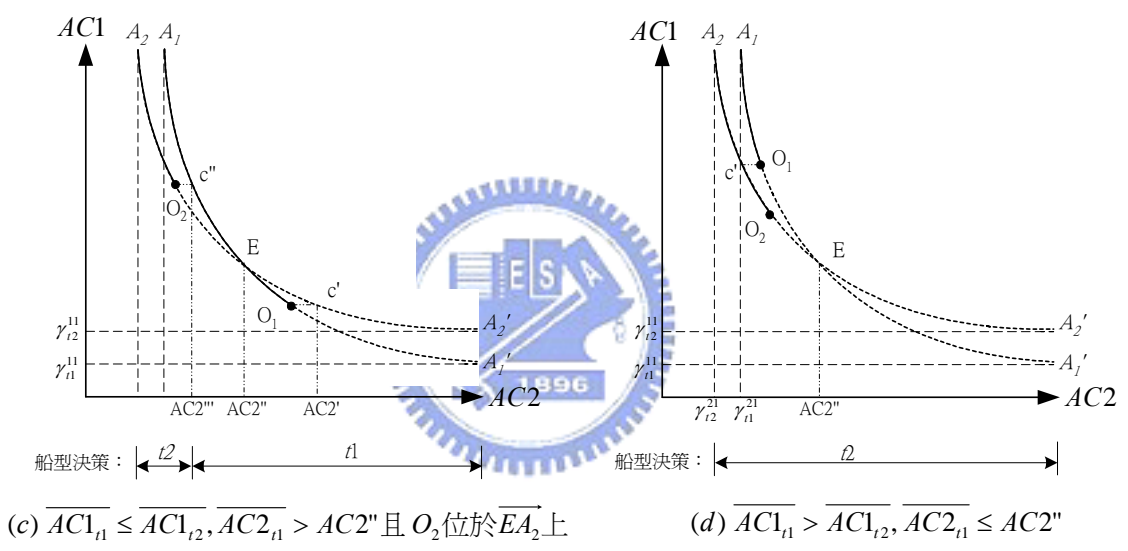
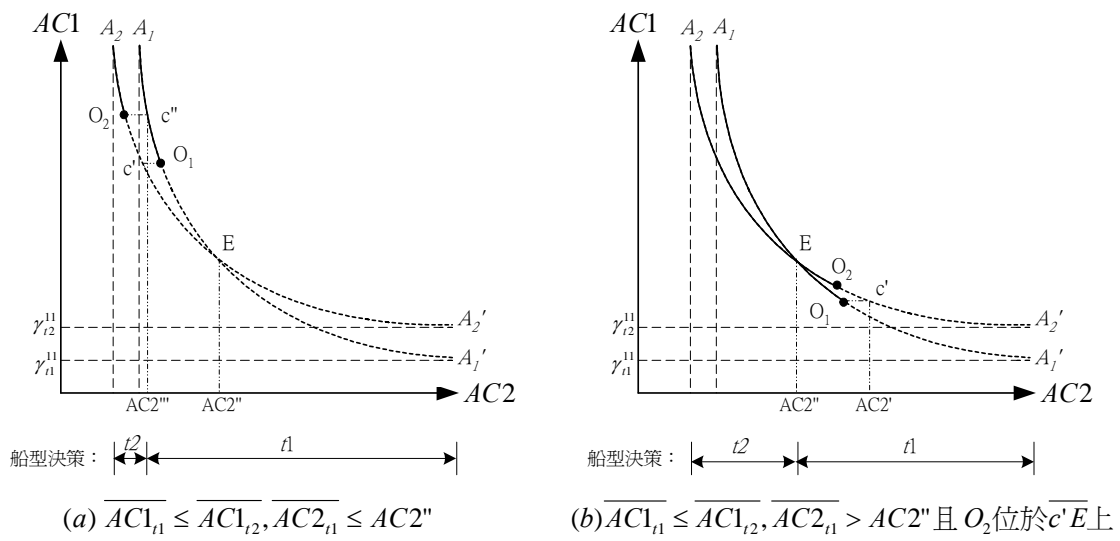


圖 12 兩型船在大型船航速較快 ($V_{t1} < V_{t2}$) 時的船型與頻次決策

當小型船的最小單位貨櫃航運成本較小($\overline{AC1_{t1}} \leq \overline{AC1_{t2}}$)時，船型與頻次決策有三種可能情形：(1)若 O_1 位於兩曲線交點 E 左側($\overline{AC2_{t1}} \leq AC2''$)時，決策如圖 12(a)， O_2 位於 $\overline{c'A_2}$ 上，柏拉圖最佳解為圖中 $\overline{O_1c''}$ 、 $\overline{O_2A_2}$ ；(2)若 O_1 位於兩曲線交點 E 右側($\overline{AC2_{t1}} > AC2''$)且 O_2 位於 $\overline{Ec'}$ 上，決策如圖 12(b)，柏拉圖最佳解為圖中 $\overline{O_1E}$ 、 $\overline{EA_2}$ ；(3)若 O_1 位於兩曲線交點 E 右側($\overline{AC2_{t1}} > AC2''$)且 O_2 位於 $\overline{EA_2}$ 上，決策如圖 12(c)，柏拉圖最佳解為圖中 $\overline{O_1c''}$ 、 $\overline{O_2A_2}$ 。上述三種情形均顯示：在沒有單位貨櫃存貨成本要求時，以使用最小單位貨櫃航運成本較小($\overline{AC1_{t1}} \leq \overline{AC1_{t2}}$)的小型船($t1$)較佳，若要求單位貨櫃存貨成本須低於 $AC2''$ 或 $AC2'''$ 時，則使用航速較快、可降低存貨成本的大型船($t2$)較佳。

當大型船的最小單位貨櫃航運成本較小($\overline{AC1_{t1}} > \overline{AC1_{t2}}$)時，船型與頻次決策有二種可能情形：(1)若 O_1 位於兩曲線交點 E 左側($\overline{AC2_{t1}} \leq AC2''$)時，決策如圖 12(d)， O_2 將位於 $\overline{c'A_2'}$ 上，柏拉圖最佳解為圖中 $\overline{O_2A_2}$ ，顯示無論單位貨櫃存貨成本要求為何，均以使用最小單位貨櫃航運成本較小的大型船($t2$)較佳；(2)若 O_1 位於兩曲線交點 E 右側($\overline{AC2_{t1}} > AC2''$)時，決策如圖 12(e)， O_2 將位於 $\overline{c'A_2'}$ 上，柏拉圖最佳解為圖中 $\overline{O_2c'}$ 、 $\overline{O_1E}$ 、 $\overline{EA_2}$ ，顯示在沒有單位貨櫃存貨成本要求時，以使用最小單位貨櫃航運成本較小的大型船($t2$)較佳，在單位貨櫃存貨成本要求須低於 $AC2'$ 時，則改以船舶時間成本較低、運量較小的小型船($t1$)提供較高頻次服務以降低存貨成本，若存貨成本更進一步要求須低於 $AC2''$ 時，則必須使用航速較快的大型船($t2$)提供更高頻次的運送服務以更進一步降低存貨成本。

以上分析了兩最小運送頻次點相對位置之所有可能情形，可知無論是大型船或小型船航速較快，在沒有單位貨櫃存貨成本限制時，均以使用最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)較小的船型較佳，當單位貨櫃存貨成本限制不得高於某特定水準($AC2'$ 、 $AC2''$ 或 $AC2'''$)時，則選擇以船舶時間成本較低、運量較小的小型船($t1$)提供較高頻次服務以降低單位貨櫃存貨成本，或者採用航速較快的船型。不過，在實際航運市場，由於大型船具有單位艙位成本較低的船舶規模經濟性，故通常以大型船的最小單位貨櫃航運成本較小，即圖 11(b) 與圖 12(d)(e)之情形較常發生，至於小型船最小單位貨櫃航運成本較小之情形(圖 11(a)與圖 12(a)(b)(c))在比較特殊的情況下才會發生，例如以超大

型貨櫃船服務一條靠泊十數港之航線，發生船舶規模經濟理論中因平均滯港成本隨船舶增大而增加致產生船舶規模不經濟現象之情況(如 Jansson and Shneerson[29])。因此，在實際航運市場上，若沒有單位貨櫃存貨成本限制，以使用具船舶規模經濟性的大型船較佳，若存在單位貨櫃存貨成本限制，則改採船舶時間成本較低、運量較小的小型船提供較高頻次服務或採航速較快的船以降低單位貨櫃存貨成本。

4.3 載運量變動之影響分析

接下來針對模式中的重要參變數—貨物載運量做分析，探討其變動對船型與頻次決策之影響。為利數學推導，將對模式做適度假設以簡化問題複雜度，雖然計算結果與運用完整模式的計算結果略有差異，但兩者的變動方向與趨勢一致，分析結果可確實掌握貨物載運量變動對決策之影響。

令整條航線的總貨物載運量為 Q ， $Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}$ ，總航距為 D ， $D = \sum_{i=1}^n D_i$ 。假設各港埠相關參變數值不因港而異，令 $G_i=G$ 、 $R_i=R$ 、 $W_i=W$ 、 $B_{it}=B_t$ 、 $\alpha_{it}=\alpha_t$ 、 $\beta_{it}=\beta_t$ 。並令 $\phi_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}}$ 、 $\phi_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} D_k}{D \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij}}$ 、 $\phi_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n Q_{ij} \delta_{ijk} (Q_{kl} + Q_{lk})}{2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Q_{ij} \right)^2}$ 、 $\eta = \frac{\text{Max}_k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ijk} Q_{ij}}{Q}$ ， ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 、 η 為定值，不隨靠泊港數、貨物載運量或航距改變。

依據上述假設，成本關係曲線的數學式(式(23))中的 γ_t^{11} 、 γ_t^{12} 、 γ_t^{21} 、 γ_t^{22} 可分別改寫如下： $\gamma_t^{11} = 2 \left(G + \frac{\beta_t}{R} + \frac{S_t}{R} \right)$ 、 $\gamma_t^{12} = \frac{n(\alpha_t + S_t W + B_t) + D \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right)}{Q}$ 、 $\gamma_t^{21} = H \left(\phi_1 W + \phi_2 \frac{D}{V_t} \right)$ 、 $\gamma_t^{22} = \frac{91H}{2} + \frac{2\phi_3 QH}{R}$ ，最小運送頻次(f_t^{\min})亦改寫如下： $f_t^{\min} = \frac{\eta Q}{U_t}$ 。

由 γ_i^{11} 、 γ_i^{21} 不隨總貨物載運量 (Q) 變動，而 $\gamma_i^{12}\gamma_i^{22} = \left[n(\alpha_i + S_i W + B_i) + D \left(\frac{S_i}{V_i} + F_i \right) \right] \left(\frac{91H}{2Q} + \frac{2\phi_3 H}{R} \right)$ 隨總貨物載運量 (Q) 增加而減少，可知當總貨物載運量增加時，成本關係曲線的兩漸近線不變、中心點不變、焦距變短、頂點往左下方移動，整條曲線往中心點方向移動。最小運送頻次點為 $(\overline{AC2}_i, \overline{AC1}_i)$ ，由

$$\overline{AC2}_i = H \left(\phi_1 W + \phi_2 \frac{D}{V_i} \right) + \left(\frac{91H}{2Q} + \frac{2\phi_3 H}{R} \right) \frac{U_i}{\eta} \quad (27)$$

$$\overline{AC1}_i = 2 \left(G + \frac{\beta_i}{R} + \frac{S_i}{R} \right) + \left[n(\alpha_i + S_i W + B_i) + D \left(\frac{S_i}{V_i} + F_i \right) \right] \frac{\eta}{U_i} \quad (28)$$

可知 $\overline{AC2}_i$ 隨總貨物載運量 (Q) 的增加而減少， $\overline{AC1}_i$ 不隨總貨物載運量 (Q) 變動，最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_i, \overline{AC1}_i)$ 往左平移。任意 t 型船的可行解隨總貨物載運量 (Q) 變動之情形如圖 13 所示。以下同樣以兩型船之分析為例，說明貨物載運量變動對船型決策之影響。

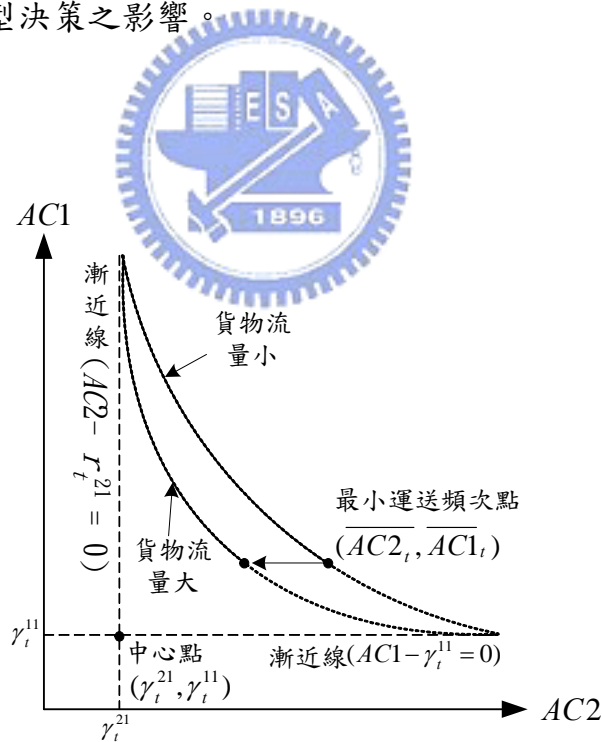


圖 13 任意 t 型船可行解隨總貨物載運量變動圖

由於最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_i$)不隨總貨物載運量(Q)變動，使得兩型船之最小單位貨櫃航運成本的相對大小不變。故兩型船之船型與頻次決策情形仍如前述分析之圖 11 與圖 12 所示，惟船型決策臨界點($AC2'$ 、 $AC2''$ 與 $AC2'''$)隨總貨物載運量(Q)變動而改變。

船型決策臨界點 $AC2'$ 為 c' 點之單位貨櫃存貨成本值，由 c' 位於大型船成本關係曲線上，且其單位貨櫃航運成本值為 $\overline{AC1}_{i1}$ ，可推導 $AC2'$ 的數學式如下：

$$AC2' = \gamma_{i2}^{21} + \frac{\gamma_{i2}^{12} \cdot \gamma_{i2}^{22}}{AC1_{i1} - \gamma_{i2}^{11}}$$

$$= H \left(\phi_1 W + \phi_2 \frac{D}{V_{i2}} \right) + \frac{\left[n(\alpha_{i2} + S_{i2}W + B_{i2}) + D \left(\frac{S_{i2}}{V_{i2}} + F_{i2} \right) \right] \left(\frac{91H}{2Q} + \frac{2\phi_3 H}{R} \right)}{2 \left(\frac{\beta_{i1} - \beta_{i2}}{R} + \frac{S_{i1} - S_{i2}}{R} \right) + \frac{\eta}{U_{i1}} \left[n(\alpha_{i1} + S_{i1}W + B_{i1}) + D \left(\frac{S_{i1}}{V_{i1}} + F_{i1} \right) \right]} \quad (29)$$

由 $\overline{AC1}_{i1} > \overline{AC1}_{i2} > \gamma_{i2}^{11}$ ，可知 $\overline{AC1}_{i1} - \gamma_{i2}^{11} > 0$ ，即 $2 \left(\frac{\beta_{i1} - \beta_{i2}}{R} + \frac{S_{i1} - S_{i2}}{R} \right) + \frac{\eta}{U_{i1}} \left[n(\alpha_{i1} + S_{i1}W + B_{i1}) + D \left(\frac{S_{i1}}{V_{i1}} + F_{i1} \right) \right] > 0$ ，得到 $AC2'$ 隨總貨物載運量增加而減少。

相同的，船型決策臨界點 $AC2''$ 為 c'' 點之單位貨櫃存貨成本值，由 c'' 點位於小型船成本關係曲線上，且其單位貨櫃航運成本值為 $\overline{AC1}_{i2}$ ，可推導 $AC2''$ 的數學式與 $AC2'$ 相似：

$$AC2'' = \gamma_{i1}^{21} + \frac{\gamma_{i1}^{12} \cdot \gamma_{i1}^{22}}{AC1_{i2} - \gamma_{i1}^{11}}$$

$$= H \left(\phi_1 W + \phi_2 \frac{D}{V_{i1}} \right) + \frac{\left[n(\alpha_{i1} + S_{i1}W + B_{i1}) + D \left(\frac{S_{i1}}{V_{i1}} + F_{i1} \right) \right] \left(\frac{91H}{2Q} + \frac{2\phi_3 H}{R} \right)}{2 \left(\frac{\beta_{i2} - \beta_{i1}}{R} + \frac{S_{i2} - S_{i1}}{R} \right) + \frac{\eta}{U_{i2}} \left[n(\alpha_{i2} + S_{i2}W + B_{i2}) + D \left(\frac{S_{i2}}{V_{i2}} + F_{i2} \right) \right]} \quad (30)$$

可知船型決策臨界點 $AC2'''$ 亦隨總貨物載運量之增加而減少。至於第三個船型決策臨界點 $AC2''$ ，其為兩成本關係曲線交點 E 之單位貨櫃存貨成本值，由兩曲線的數學式可推導出 $\frac{\partial AC2''}{\partial Q} < 0$ ，得到 $AC2''$ 亦隨貨物載運量增加而減少。亦即，三個船型決策臨界點($AC2'$ 、 $AC2''$ 與 $AC2'''$)均隨總貨物載運量(Q)增加而減少。

總貨物載運量的變動可以是載運量本身隨經貿環境轉變而改變，或是航商運用聯營合作策略所促成的載運量增加，變動對船型決策的影響可以圖形作說明。以小型船航速較快或兩型船航速相同($V_{t1} \geq V_{t2}$)且大型船的最小單位貨櫃航運成本較小($\overline{AC1_{t1}} > \overline{AC1_{t2}}$)之情況為例作說明，總貨物載運量(Q)增加對船型與頻次決策的影響如圖 14(a)，柏拉圖最佳解往左平移，船型決策臨界點 $AC2'$ 亦往左平移，原本以使用小型船為最佳船型的部份，轉變為以使用大型船為最佳船型。進一步將船型決策臨界點 $AC2'$ 隨總貨物載運量變動之曲線(式(30))表示在以總貨物載運量(Q)為橫軸，單位貨櫃存貨成本($AC2$)為縱軸的二維決策圖上，如圖 14(b)，圖中顯示：在 $AC2'$ 曲線上方以使用大型船($t2$)較佳，而在曲線下方以使用小型船($t1$)較佳，亦即，隨總貨物載運量的增加， $AC2'$ 曲線下降，則使用最小單位貨櫃航運成本較小的大型船之可能性逐漸提高。

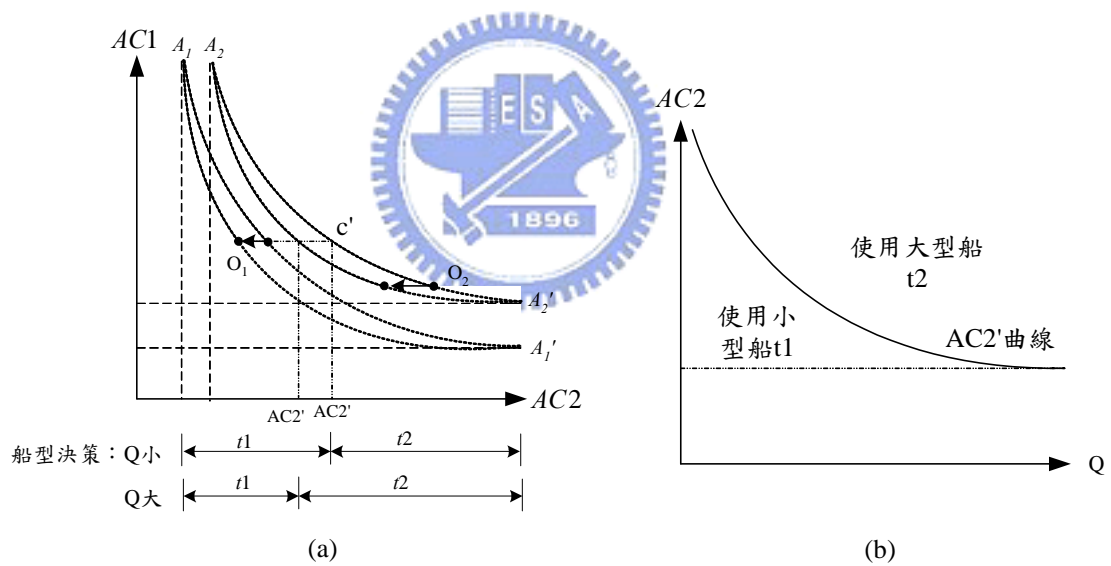


圖 14 貨物載運量變動對船型決策之影響

由以上分析可知當大型船的最小單位貨櫃航運成本較低($\overline{AC1_{t1}} > \overline{AC1_{t2}}$)時，使用大型船的可能性隨貨物載運量的增加而增加；而當小型船的最小單位貨櫃航運成本較低($\overline{AC1_{t1}} \leq \overline{AC1_{t2}}$)時，使用小型船的可能性隨貨物載運量的增加而增加。亦即，隨貨物載運量增加，最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)較小之船型是較佳決策的可能性提高。在實際航運市場上，由於通常以大型

船的最小單位貨櫃航運成本較低，因此隨貨物載運量增加，大型船是較佳決策的可能性提高。

此外，由圖 14(a)中成本關係曲線移動之現象，可知當存貨成本之限制水準小於 $\overline{AC2_{i2}}$ 時，在任一特定的單位貨櫃存貨成本水準下，相對應的單位貨櫃航運成本($AC1$)隨貨物載運量的增加而減少，此一載運量增加而單位貨櫃航運成本下降的現象可合理說明實務上航商普遍採用聯營之經營模式。例如：兩航商經營同一條航線，在提供相同的單位貨櫃存貨成本水準之服務目標下，若兩航商以共同派船方式聯營，將可以擴大航線載運量、提高運送頻次，甚至增大運送船型，比各自經營一條航線的單位貨櫃航運成本低，兩航商均可獲得單位貨櫃航運成本降低的利益。

4.4 船型與頻次決策範例

為瞭解上述模式的運作情形，本研究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，並探討貨物載運量、航程長度、靠泊港數與港埠效率等因素對船型決策之影響。

TPN 航線由高雄港出發，經香港、大阪、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 15 所示。假設航商可用船型有五種，分別以 T_i ($i = 1\sim 5$)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_{ii})如表 9 所示，各型船在港口的港灣費用固定部份(α_{ii})、變動部份(β_{ii})與單位貨櫃處理成本(G_i)如表 10 所示，各港口間的貨物載運量如表 11 所示。另外，模式中各港的平均毛裝卸效率(R_i)、平均等待時間(W_i)在此範例分析中暫不考慮港埠差異，均按高雄港 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。

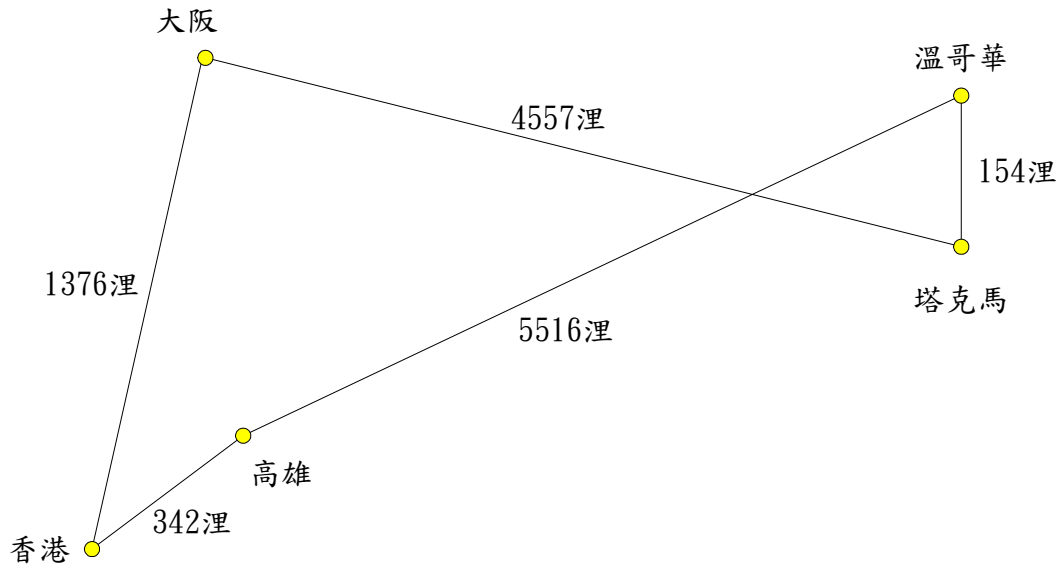


圖 15 TPN 航線的各航段航程

航程資料來源：Caney and Reynolds[76]。

表 9 各型船之船舶相關參變數值

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/日)	504.0	492.0	496.8	600.0	600.0
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[74]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。

表 10 各型船之港埠相關參變數值

船 型	T1	T2	T3	T4	T5
港灣費用固定部份 α_{it} (美元/次)	3,377	3,497	3,859	3,987	4,241
港灣費用變動部份 β_{it} (美元/日)	2,151	2,151	2,868	2,868	4,302
單位貨櫃處理成本 G_i (美元/TEU)	53	53	53	53	53

註：在此範例分析中暫不考慮港埠差異，假設各港港埠相關參變數值 α_{it} 、 β_{it} 、 G_i 相同，且以各型船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[77])計算。

表 11 各港口間貨物載運量

單位：TEU

起 \ 迄	高 雄	香 港	大 阪	塔克馬	溫哥華
高 雄	-	0	0	9,663	8,166
香 港	0	-	0	23,553	19,904
大 阪	0	0	-	1,918	1,621
塔克馬	6,026	14,689	1,196	-	0
溫哥華	5,093	12,413	1,011	0	-

- 註：1. 基於此一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，不考慮近洋貨物載運量，因此假設遠東區域內、美西區域內港口間的貨物載運量為零。
2. 以五個港口的港埠貨櫃作業量(引自 Containersation International Yearbook 2002[78])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載運量比例，並以該航線 2001 年第二季在高雄港的貨櫃實櫃裝卸量計算各港口間的貨物載運量。

將上述各項參變數值代入，求得各型船的成本關係曲線數學式、最小運送頻次點 $(\overline{AC2}_i, \overline{AC1}_i)$ 與各型船成本關係曲線的交點，如表 12 所示，推論得到各型船的可行解如圖 16 所示。表 12 的最小運送頻次點值顯示各型船的最小單位貨櫃航運成本 $(\overline{AC1}_i)$ 值隨船型的增大而減少，以 T5 船型最小為 240 美元/TEU，其次是 T4 船型為 255 美元/TEU，然後是 T3、T2 與 T1 船型，分別是 297、324 與 385 美元/TEU。

圖 16 中五曲線分別表示五型船的成本關係曲線，曲線圖形如同第三節所推論為雙曲線數學函數。T4 型(4,211TEU)船的成本關係曲線最接近原點(0,0)，顯示該型船在相同單位貨櫃存貨成本水準下的單位貨櫃航運成本最低，其次是 T5 型(5,652 TEU)船，兩曲線不相交，容量較大的 T5 型船的曲線恆位於 T4 型船的右上方，與前述理論推導之兩型船航速相同($V_{t4}=V_{t5}=25$)情況一致，其次是 T1 型(1,810 TEU)船，其曲線與 T4、T5 的曲線分別相交於一點： $(725,197)$ 、 $(549,258)$ ，不過此兩點均已位在不可行解處。另 T3 型(3,428 TEU)與 T2 型(2,728 TEU)船，兩型船的成本關係曲線相當貼近，由於 T3 型船的航速略高於 T2 型船，兩曲線相交於一點 $(424,650)$ ，兩型船的航速低於 T1 與 T4、T5 船型，與 T1 型的曲線沒有交點，而與 T4 型、T5 型的曲線均相交於一點。

表 12 各型船的成本關係曲線數學式、最小運送頻次點與各曲線交點

單位：美元/TEU

船型	成本關係曲線數學式	最小運送頻次點	成本關係曲線交點			
			T1	T2	T3	T4
T1	$(AC1-134)(AC2-365)=22732.5$	(456,385)				
T2	$(AC1-135)(AC2-374)=25812.8$	(511,324)	不相交			
T3	$(AC1-137)(AC2-370)=27538.1$	(542,297)	不相交	(424,650)		
T4	$(AC1-138)(AC2-308)=24771.0$	(519,255)	$(725,197)$ 不可行	$(1358,162)$ 不可行	$(3787,145)$ 不可行	
T5	$(AC1-141)(AC2-308)=28067.3$	(592,240)	$(549,258)$ 不可行	$(727,208)$ 不可行	$(911,188)$ 不可行	不相交

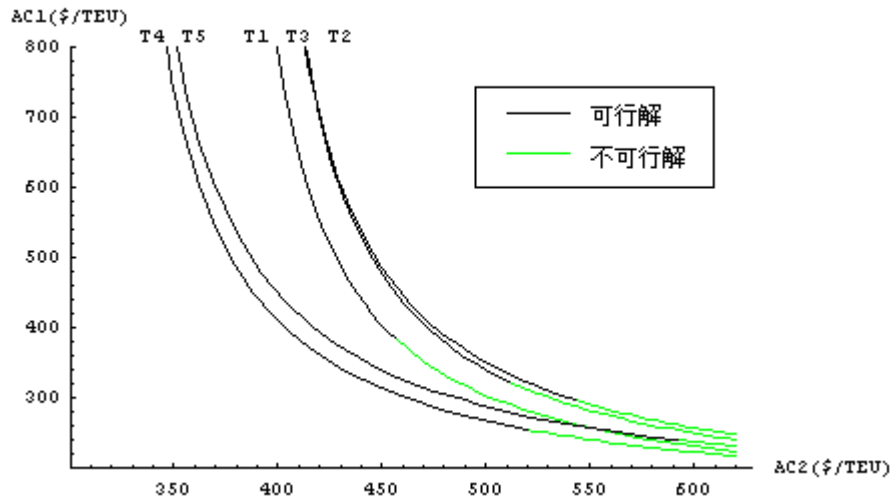


圖 16 TPN 航線之各型船的可行解

柏拉圖最佳解為各型船中最接近原點(0,0)之曲線所組成，由圖 16 中各型船的可行解，可求得 TPN 航線之柏拉圖最佳解，由 T4 型船的所有可行解與 T5 型船之部份可行解所組成，如圖 17 中實線所示。船型決策臨界點可由式(29)計算得到，為 555 美元/TEU，顯示柏拉圖最佳解包含 T4 與 T5 兩種船型，當單位貨櫃存貨成本沒有限制時以使用 T5 型船較佳，當單位貨櫃存貨成本要求須小於 555 美元/TEU 時以使用 T4 型船較佳。

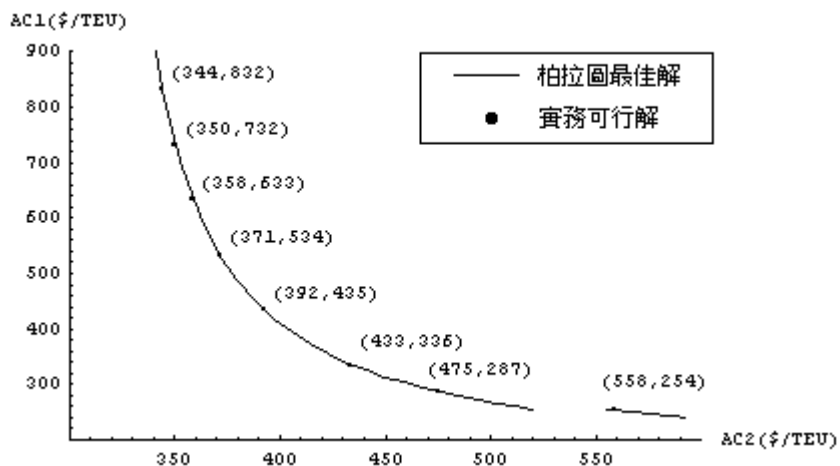


圖 17 TPN 航線之柏拉圖最佳解與實務可行解

進一步考慮在實務上航商安排的運送頻次大多以週為單位，提供兩週一班以上的航運服務。則 TPN 航線實際上可選擇的船型與頻次如表 10 與圖 14 中的離散點所示。表 13 顯示當航商提供兩週一班至每日一班之航運服務時的最適船型、單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本。兩週一班與每月三班之航運服務無法將所有貨物完全運送，單位貨櫃航運成本最低的選擇是安排每週一班的航運服務，此時以 T5 船型服務的單位貨櫃航運成本為 254 美元/TEU，單位貨櫃存貨成本為 558 美元/TEU，此外航商亦可以選擇安排兩週三班、每週二班或更高頻次的運送服務，此時以 T4 船型服務較佳。

表 13 TPN 航線實際可行之航運服務

運送頻次	船型	單位貨櫃 航運成本 (美元/TEU)	單位貨櫃 存貨成本 (美元/TEU)	運送頻次	船型	單位貨櫃 航運成本 (美元/TEU)	單位貨櫃 存貨成本 (美元/TEU)
兩週一班 (f=6.5)	不可 行	-	-	每週三班 (f=39)	T4	435	392
每月三班 (f=9)	不可 行	-	-	每週四班 (f=52)	T4	534	371
每週一班 (f=13)	T5	254	558	每週五班 (f=65)	T4	633	358
兩週三班 (f=19.5)	T4	287	475	每週六班 (f=78)	T4	732	350
每週二班 (f=26)	T4	336	433	每日一班 (f=91)	T4	832	344

貨物載運量變動對船型決策之影響如圖 18。圖中顯示：在 TPN 航線之不同單位貨櫃存貨成本($AC2$)與總航線貨物載運量(Q)時的最適船型決策，當單位貨櫃存貨成本低、航線貨物載運量低時，採用 T4 型船較佳，而當單位貨櫃存貨成本高、航線貨物載運量高時，採用 T5 型船較佳，也就是說，隨著貨物載運量的增加，決策傾向於使用大型船。

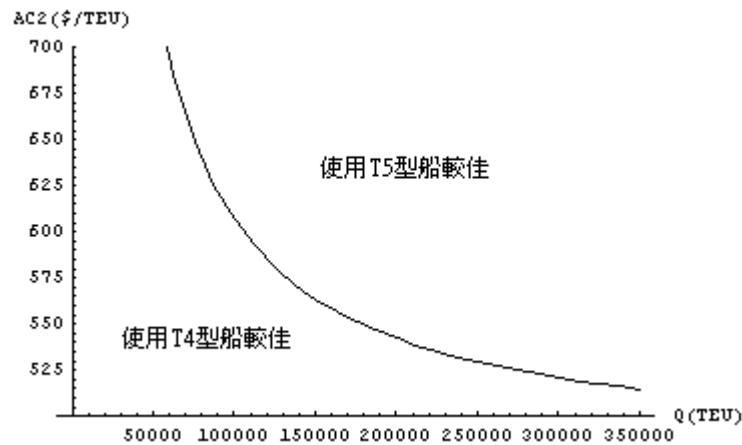


圖 18 貨物載運量變動對船型決策之影響

進一步，本研究探討不同的航程長度、靠泊港數目，以及港埠效率對船型決策之影響。表 14 顯示當航線貨物載運量為 20,000TEU 時，不同航程、靠泊港數與港埠效率情況下頻次為每週一班的最適船型，可知最適船型將隨著航程長度的增加而增大，隨著靠泊港數的增加而減少，且隨著港埠效率的提高而增大。

表 14 航程、靠泊港數與港埠效率之影響分析

(a) 目前港埠效率($W_i=3hr.$, $R_i=70TEU/hr.$)下的最適船型

航程 靠港數	2,000 哩	2,500 哩	3,000 哩	3,500 哩	4,000 哩	4,500 哩	5,000 哩
5 港	T1	T1	T1	T4	T4	T4	T4
10 港	T1	T1	T1	T1	T4	T4	T4
15 港	T1	T1	T1	T1	T4	T4	T4
20 港	T1	T1	T1	T1	T4	T4	T4

(b) 港埠效率提高($W_i=1hr.$, $R_i=140TEU/hr.$)下的最適船型

航程 靠港數	2,000 哩	2,500 哩	3,000 哩	3,500 哩	4,000 哩	4,500 哩	5,000 哩
5 港	T1	T1	T4	T4	T4	T4	T4
10 港	T1	T1	T4	T4	T4	T4	T4
15 港	T1	T1	T1	T4	T4	T4	T4
20 港	T1	T1	T1	T4	T4	T4	T4

(c) 港埠效率降低($W_i=6hr.$, $R_i=35TEU/hr.$)下的最適船型

航程 靠港數	2,000 哩	2,500 哩	3,000 哩	3,500 哩	4,000 哩	4,500 哩	5,000 哩
5 港	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T4
10 港	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T4
15 港	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T4
20 港	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T4

4.5 超大型貨櫃船之航運經濟分析範例

隨著全球貿易的熱絡，航運市場的日趨繁榮，世界各主要貨櫃航線的運送船型趨向大型化。貨櫃船大型化的發展腳步極為快速，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 6,000TEU，在 2001 年為 7,500TEU，2003 年為 OOCL 的 8,000TEU 貨櫃船，而目前世界最大的貨櫃船為地中海航運(MSC)的 9,200TEU 貨櫃船，已於 2005 年投入亞洲—歐洲航線服務。Frankel[79]在 2002 年即指出超大型貨櫃船出現的年代已經不遠了，短期內 9,000TEU 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 12,500TEU 超大型貨櫃船。

未來超大型貨櫃船是否如預測時程出現？除克服造船技術與港埠設施、機具設備的配合問題外，能否較目前使用的貨櫃船更具競爭優勢，是超大型貨櫃船出現的關鍵因素。超大型貨櫃船具有單位艙位成本降低的規模經濟性，不過，航線貨物載運量必須足夠、安排的運送頻次必須能滿足貨主需求、提高貨主託運意願，是以在實務上航商常運用航線軸心化、聯營化等營運策略以擴大航線載運量、提高運送頻次。此外，超大型貨櫃船的規模經濟效益受到航程、航速、靠港數目、港埠費率與效率等因素影響。本研究嘗試探討超大型貨櫃船的航運經濟性，估算超大型貨櫃船投入營運之經濟營運載運量，並分析港埠效率、船舶時間成本、靠港數目、航程長度、方向載運量比例等因素對超大型貨櫃船營運競爭力之影響。

在此，同樣以 TPN 航線(Transpacific Northwest Service)為例進行超大型貨櫃船之航運經濟分析。在船型方面，考慮該航線當時的營運船型(5,652TEU)、接近當時最大型船之船型(7,500TEU)、短期會出現的船型(9,000TEU)與超大型貨櫃船(12,500TEU)四種船型。各型船的船舶容量(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_{ii})如表 15 所示，各型船在港口的港灣費用固定部份(α_{ii})、變動部份(β_{ii})與單位貨櫃處理成本(G_i)如表 16 所示。此外，各港口間的貨物載運量、模式中各港的平均毛裝卸效率(R_i)、平均等待時間(W_i)均與 4.4 節相同。

表 15 各型船之船舶相關參變數值

船 型	T1	T2	T3	T4
船舶容量 U_i (TEU)	5,652	7,500	9,000	12,500
總噸位(G.T.)	69,245	94,000	106,000	160,000
吃水(公尺)	12.7	14.5	14.5	16.0
服務航速 V_i (浬/日)	600.0	600.0	600.0	600.0
每日船舶時間成本 S_i (美元)	25,813	27,675	29,187	32,715
單位距離燃油成本 F_i (美元/浬)	29.89	37.99	44.57	59.92
進港燃油成本 B_{it} (美元/次)	149.44	189.95	222.84	299.58

註：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[74]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。

表 16 各型船之港埠相關參變數值

船 型	T1	T2	T3	T4
港灣費用固定部份 α_{it} (美元/次)	4,241	5,827	7,177	10,820
港灣費用變動部份 β_{it} (美元/日)	4,302	5,455	6,545	9,091
單位貨櫃處理成本 G_i (美元/TEU)	53	53	53	53

註：分析中暫不考慮港埠差異，假設各港港埠相關參變數值 α_{it} 、 β_{it} 、 G_i 相同，且以各型船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[77])之收費方式估算。

4.5.1 最適船型求解

將上述各項參變數值代入，求得 TPN 航線各型船的成本關係曲線數學式、最小運送頻次(f_i^{\min})、最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_i$)與最大存貨成本($\overline{AC2}_i$)如表 17，推論得到各型船可行解如圖 19。表 17 顯示各型船的最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1}_i$)值隨船型增大而減少，以 12,500TEU 超大型船(T4)之值最小，為 226.873 美元/TEU，其次是 9,000TEU 大型船(T3)與 7,500TEU 大型船(T2)，分別為 228.516 美元/TEU 與 231.841 美元/TEU，目前使用的 5,652TEU 船(T1)之值最高，為 240.907 美元/TEU。可知在此越太平洋航線超大型與大型船均具有船舶規模經濟性，若航商可以不考慮單位貨櫃存貨成本或運送頻次的限制，而安排最小頻次(f_i^{\min})之服務，則使用越大型船的單位貨櫃航運成本愈低，將獲得愈多的規模經濟效益。

然而，在當時載運量使用 12,500TEU 超大型船(T4)的最小頻次為每季 5.186 次，使用 9,000TEU(T3)與 7,500TEU(T2)大型船的最小頻次分別為每季 7.203 次與 8.643 次，均低於每週一班(每季 13 次)之航運服務，若航商提供如此低頻次的服務，恐無法與其他航商競爭、獲得貨主之託運貨物。圖 19 中四曲線由左至右分別表示 T1 至 T4 四型船，曲線圖形如同第三節所推論為雙曲線數學函數。四成本關係曲線中以當時使用的 5,652TEU 船(T1)曲線最接近原點(0,0)，顯示在相同的單位貨櫃存貨成本下以此型船的單位貨櫃航運成本最低，其次是 7,500TEU 大型船(T2)，然後才是 9,000TEU 大型船(T3)、12,500TEU 超大型船(T4)。

表 17 各型船的成本關係曲線數學式與最小運送頻次點

船型	成本關係曲線數學式	最小運送頻次(次/季)	最小單位貨櫃航運成本(美元/TEU)	最大單位貨櫃存貨成本(美元/TEU)
T1	$(AC1-141.852)(AC2-308.734) = 28067.3$	11.469	240.907	592.084
T2	$(AC1-145.440)(AC2-308.734) = 32486.3$	8.643	231.841	684.729
T3	$(AC1-148.539)(AC2-308.734) = 36085.3$	7.203	228.516	759.928
T4	$(AC1-155.769)(AC2-308.734) = 44557.7$	5.186	226.873	935.393

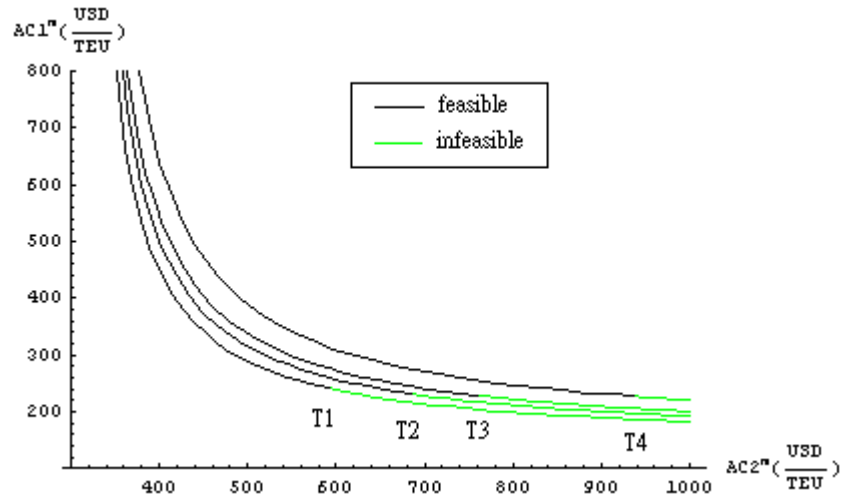


圖 19 TPN 航線之各型船可行解

柏拉圖最佳解為各型船可行解中最接近原點(0,0)之曲線所組成，經比較各型船可行解，可求得 TPN 航線的柏拉圖最佳解由 T1 型船的所有可行解與 T2、T3、T4 型船之部份可行解所組成，如圖 17 中的實線所示。顯示當單位貨櫃存貨成本沒有限制時以使用 12,500TEU 超大型船(T4)較佳，當單位貨櫃存貨成本要求須低於 921,236 美元/TEU 時以使用 9,000TEU 大型船(T3)較佳，當單位貨櫃存貨成本要求須低於 741.92 美元/TEU 時以使用 7,500TEU 大型船(T2)較佳，而當單位貨櫃存貨成本要求須低於 649.023 美元/TEU 時則以使用當時之 5,652TEU 船(T1)較佳。

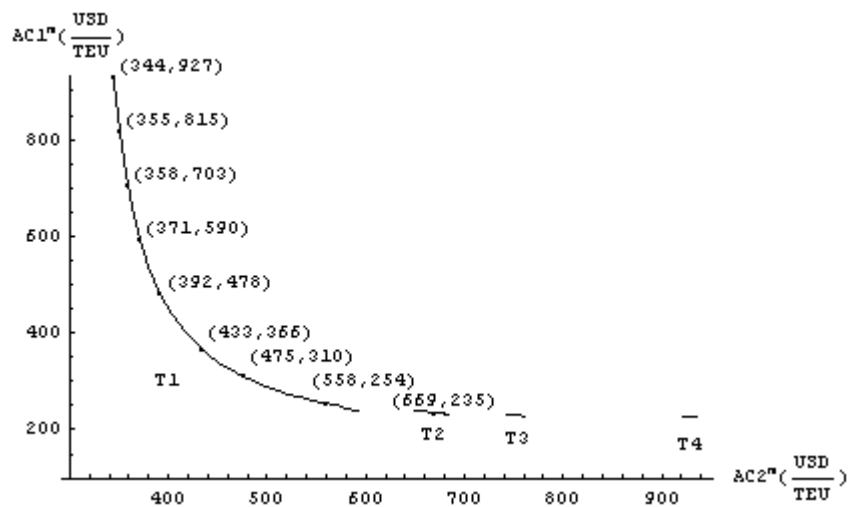


圖 20 TPN 航線之柏拉圖最佳解與實務可行解

進一步考慮實務上航商安排的運送頻次以週為單位，且提供兩週一班以上的航運服務，則 TPN 航線實際上可選擇的頻次與船型如表 18 與圖 20 中的離散點所示。表 18 顯示航商提供兩週一班至每日一班服務時的最適船型與相對應之單位貨櫃航運成本、存貨成本。可知當航商安排每週一班或更高頻次航運服務時，使用 T2、T3 與 T4 型船的單位貨櫃航運成本較 T1 高，故以使用當時 5,652TEU 船(T1)較佳，若航商可以接受提供每月三班之航運服務，則以採用 7,500TEU 船(T2)較佳。

表 18 TPN 航線實際可行之航運服務

運送頻次	船型	單位貨櫃 航運成本 (美元/TEU)	單位貨櫃 存貨成本 (美元/TEU)	運送頻次	船型	單位貨櫃 航運成本 (美元/TEU)	單位貨櫃 存貨成本 (美元/TEU)
兩週一班 (f=6.5)	不可 行	-	-	每週三班 (f=39)	T1	478.674	392.064
每月三班 (f=9)	T2	235.406	669.829	每週四班 (f=52)	T1	590.949	371.231
每週一班 (f=13)	T1	254.126	558.723	每週五班 (f=65)	T1	703.223	358.732
兩週三班 (f=19.5)	T1	310.263	475.393	每週六班 (f=78)	T1	815.497	350.399
每週二班 (f=26)	T1	366.400	433.728	每日一班 (f=91)	T1	927.771	344.447

在此，本研究推導出 TPN 航線考慮 5,652TEU、7,500TEU、9,000TEU 與 12,500TEU 四種船型時雙目標最小化的柏拉圖最佳解與實務可行解，並同時決定在不同存貨成本與單位貨櫃航運成本值之最適船型。當航商尚考慮其他船型，或針對不同航線做探討時，均可以相同方法求解。例如：在 TPN 航線考慮一航速相同而容量小於 5,652TEU 的船型，由圖 19 可以推測其成本關係曲線落在 5,652TEU 船型曲線的左側，則此時的柏拉圖最佳解將包括此一較小型貨櫃船，惟航商是否選擇此型船提供航運服務，將進一步視其實務可行頻次，以及相對應之單位貨櫃航運成本值與存貨成本值決定。

4.5.2 載運量對最適船型決策影響之分析

上述分析結果顯示 9,000TEU 與 12,500TEU 貨櫃船雖具有最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)較低的船舶規模經濟性，但在當時載運量下此二型船並不比較小的 5,652TEU 或 7,500TEU 貨櫃船更具競爭優勢。惟預期未來貨物載運量將隨全球貿易熱絡而增加，使得船型決策將隨貨物載運量之增加而傾向採用更大型船。未來超大型船何時投入營運是眾所關心的課題，而本研究構建的雙目標模式可進一步求得在不同航線載運量與存貨成本值的最適船型，得知當貨物載運量多高時決策傾向採用 9,000TEU 與 12,500TEU 貨櫃船，將有助於掌握未來超大型貨櫃船的出現時間。

首先分析貨物載運量變動之影響。令 Q 表示航線載運量， $Q = \sum_i \sum_j Q_{ij}$ ，並假設各起迄貨物載運量等比例增減而相對大小不改變，則各型船之成本關係曲線數學式、最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)與最大存貨成本($\overline{AC2_t}$)隨航線載運量(Q)變動之情況如表 19 所示。由表 19 的成本關係曲線數學式可知各型船成本關係曲線的兩漸近線與中心點不隨航線載運量變動，焦距隨航線載運量之增加而漸減，將使整條曲線往中心點方向移動，又由最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)值為定值，而最大存貨成本($\overline{AC2_t}$)隨航線載運量之增加而減少，可知最小運送頻次點($\overline{AC2_t}, \overline{AC1_t}$)往左平移。以當時使用之 5,652TEU 船(T1)為例，該型船可行解隨航線載運量變動而改變之情形如圖 21 所示。此外，由表 19 的各型船最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_t}$)值為定值，可知四型船相對的規模經濟性不隨航線載運量變動。

表 19 成本關係曲線、最小單位貨櫃航運成本與最大存貨物成本隨載運量變動表

船型	成本關係曲線數學式	最小單位貨櫃航運成本 (次/季)	最大單位貨櫃存貨成本 (美元/TEU)
T1	$(AC1 - 141.852)(AC2 - 308.734) = 16,278 + \frac{1.240 \cdot 10^9}{Q}$	240.907	$473.071 + \frac{1.252 \cdot 10^7}{Q}$
T2	$(AC1 - 144.068)(AC2 - 308.734) = 18,841 + \frac{1.436 \cdot 10^9}{Q}$	231.841	$526.803 + \frac{1.662 \cdot 10^7}{Q}$
T3	$(AC1 - 145.868)(AC2 - 308.734) = 20,928 + \frac{1.595 \cdot 10^9}{Q}$	228.516	$570.417 + \frac{1.994 \cdot 10^7}{Q}$
T4	$(AC1 - 150.068)(AC2 - 308.734) = 25,842 + \frac{1.970 \cdot 10^9}{Q}$	226.873	$672.183 + \frac{2.770 \cdot 10^7}{Q}$

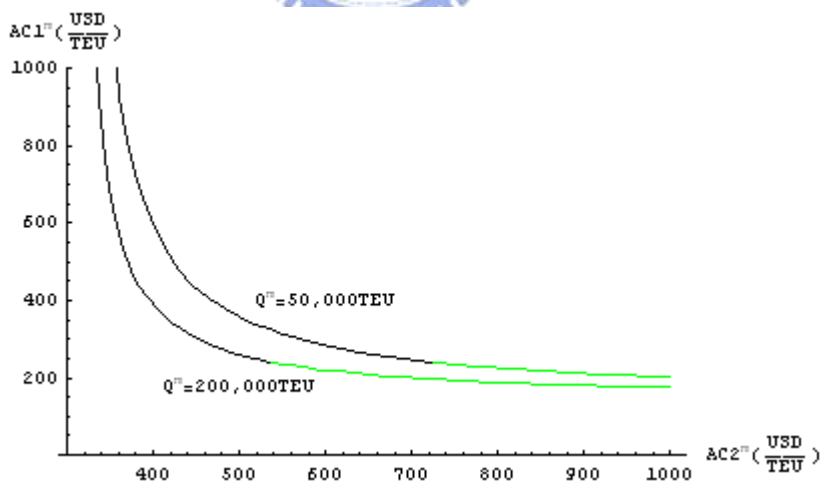


圖 21 T1 船之成本關係曲線隨航線載運量變動圖

進一步由各型船的成本關係曲線數學式與最小運送頻次點，可計算並以圖示顯示 TPN 航線在不同之航線載運量與單位貨櫃存貨成本時的最適船型，如圖 22。圖中顯示：當單位貨櫃存貨成本低、航線載運量低時，採用當時使用之 5,652TEU 船(T1)較佳，而當單位貨櫃存貨成本提高或航線載運量增加時，最適船型將由 5,652TEU 船(T1)增大為 7,500TEU(T2)、9,000TEU(T3)大型船，甚至 12,500TEU 超大型船(T4)。

當航商在該航線提供每週一班之航運服務時，若航線載運量在 143,272 TEU 以下時，以使用當時之 5,652TEU 船(T1)較佳，航線載運量在 143,272TEU 與 182,385TEU 之間時，以使用 7,500TEU 船(T2)較佳，航線載運量在 182,385TEU 與 257,883TEU 之間時，以使用 9,000TEU 船(T3)較佳，航線載運量在 257,883TEU 以上時，則以使用 12,500TEU 超大型船(T4)較佳。顯示航線載運量大小是影響航商是否採用大型船或超大型船之重要因素，當航線載運量愈大時，船型決策將愈傾向採用較大型船。若航商能夠透過聯營或採用軸輻網路以促使航線載運量增加，使得採用較大型船的單位貨櫃航運成本下降，將有助於促使超大型貨櫃船出現。

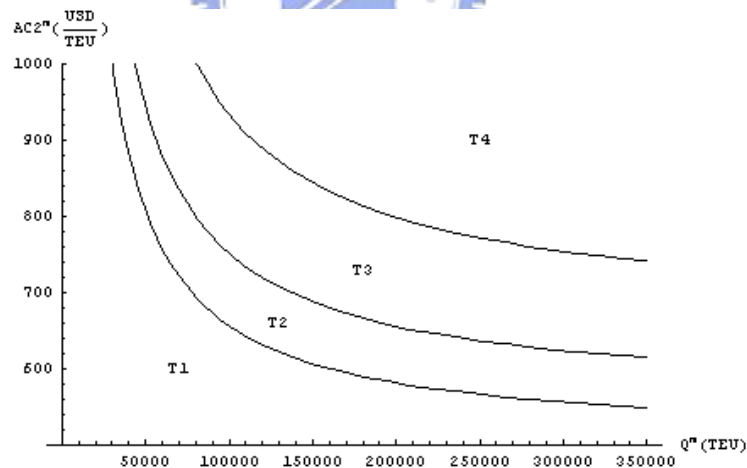


圖 22 在不同航線載運量與存貨成本之最適船型

4.5.3 重要因素之影響分析

未來除了貨物載運量增加外，超大型船的造價亦預期將隨著建造技術的成熟而逐漸下降，港埠作業效率亦預期將隨著採用新式快速裝卸機具或作業方式而提高。此二因素同樣為促進航商採用超大型船的重要因素，透過本研究構建的決策模式，可明確掌握其對航商決策之影響。此外，不同航線的航程長短不一，靠港數目不同，方向載運量比例相異，這些亦是影響超大型船投入營運與否的重要因素，在此一併探討。表 20 顯示各因素變動時的各型船的最小單位貨櫃航運成本($AC1_t$)值、最小單位貨櫃航運成本值之差距，以及當航商提供每週一班航運服務時 T2、T3 與 T4 三型船的最小臨界載運量，由此三項數值可以看出航商決策是否傾向採用超大型船。

首先，分析港埠效率變動之影響力。當港埠裝卸效率提升為 140TEU/時、港埠進出港時間縮短為 1 小時，此時四型船的最小單位貨櫃航運成本均降低，仍是以 T4 型船之值最小，且兩兩最小單位貨櫃航運成本值之差距增大，顯示船舶的規模經濟性隨港埠效率的提高而增加，有助於航商使用超大型船。此一特性亦可由航商提供每週一班服務，使用 T2、T3 與 T4 型船的最小臨界載運量降低得知。相反的，當港埠裝卸效率降低為 35TEU/小時、港埠進出港時間增加為 6 小時之情況下，四型船的最小單位貨櫃航運成本值均上升，而且使得 T4 船型之值高於 T3 船型，此時 T4 船型不具規模經濟性，無論載運量大小，使用 T4 船型均無航運經濟性可言。

其次，分析當科技進步使得超大型船的建造成本下降，進而使得超大型船相對之每日船舶時間成本(S_t)值下降之情況。假設每日船舶時間成本與船舶容量之關係為對數曲線關係，四型船的每日船舶時間成本分別為 25,042 美元、25,750 美元、26,186 美元與 26,973 美元，計算得到四型船的最小船運成本值均下降、兩兩船型之最小單位貨櫃航運成本差增大，且使用 T2、T3 與 T4 型船提供每週一班服務之最小臨界載運量均降低，顯示當較大型船相對之建造成本下降，有助於增加船舶的規模經濟性，促使航商使用超大型船。

表 20 重要因素之影響分析

影響因素 變動情形	最小單位貨櫃航運成本($\overline{AC1_i}$) (美元)				每週一班之最小臨界載運 量(TEU)		
	T1	T2	T3	T4	T2	T3	T4
當時狀況	240.907	231.841	228.516	226.873	143,272	182,385	257,883
	(9.066)	(3.325)	(1.643)				
港埠效率提高 ($W_i = 1\text{hr.}; R_i = 140\text{TEU/hr.}$)	221.806	211.174	206.414	201.316	140,784	179,191	246,035
	(10.632)	(4.760)	(5.098)		(-)	(-)	(-)
港埠效率降低 ($W_i = 6\text{hr.}; R_i = 35\text{TEU/hr.}$)	278.517	272.701	272.303	277.649	148,474	189,040	-
	(5.816)	(0.398)	(-5.346)		(+)	(+)	
較大型船成本較低 (St 降低)	238.264	226.303	220.726	214.228	138,399	176,942	239,959
	(11.961)	(5.577)	(6.498)		(-)	(-)	(-)
靠泊港數減少 ($n = 2$)	238.417	229.506	226.248	224.624	143,134	182,322	257,766
	(8.911)	(3.258)	(1.623)		(-)	(-)	(-)
靠泊港數增加 ($n = 10$)	245.057	235.732	232.296	230.619	143,486	182,482	258,062
	(9.325)	(3.435)	(1.677)		(+)	(+)	(+)
總航程縮短 ($\Sigma D_i = 5000$)	185.728	183.868	184.214	187.710	150,999	-	-
	(1.859)	(-0.346)	(-03.496)		(+)		
總航程增長 ($\Sigma D_i = 15,000$)	265.179	252.943	248.004	244.099	142,128	180,979	252,674
	(12.236)	(4.939)	(3.904)		(-)	(-)	(-)
東西向載運量均衡 (東向/總運量=0.5)	222.267	215.582	213.466	213.493	178,033	226,614	-
	(6.685)	(2.116)	(-0.026)		(+)	(+)	
東西向載運量更不 均衡 (東向/總運量=0.7)	254.433	243.639	239.437	236.582	125,492	159,758	224,221
	(10.794)	(4.202)	(2.855)		(-)	(-)	(-)

然後，分析靠泊港數目變動之情況。計算結果顯示隨靠泊港數增加，各型船的最小單位貨櫃航運成本值均增加，兩兩船型間最小單位貨櫃航運成本差略增，且使用 T2、T3 與 T4 型船提供每週一班服務之最小臨界載運量均略增，顯示減少靠泊港數略有助於增加船舶規模經濟性，促使航商使用超大型船，但影響很小，且此項因素之影響主要由港埠費率決定。

關於總航程之影響分析，在此分析了總航程縮短為 5,000 浬，與增長為 15,000 浬兩情況。分析結果顯示隨航程的增長，各型船的最小單位貨櫃航運成本值增加，兩兩船型間之最小單位貨櫃航運成本差增加，且使用 T2、T3 與 T4 型船提供每週一班服務之最小臨界載運量均減少，顯示增長總航程有助於增加船舶規模經濟性，促使航商使用超大型船。此外，當總航程為 5,000 浬時，T3 與 T4 船型的最小單位貨櫃航運成本值均較 T2 型船大，顯示在此一航程使用 9,000TEU 大型船或 12,500TEU 超大型船不具規模經濟性。

最後，針對載運量均衡與否對船型決策之影響作探討。在研究中 TPN 航線的東向載運量較大，佔總載運量的 61.59%，在此考慮總載運量不變而載運量均衡(東向載運量佔總載運量的 50%)與載運量更不均衡(東向載運量佔總載運量 70%)兩情況。分析結果顯示載運量愈不均衡，各型船的最小單位貨櫃航運成本值愈高，兩兩船型間之最小單位貨櫃航運成本差愈大，且使用 T2、T3 與 T4 型船提供每週一班服務之最小臨界載運量均隨載運量愈不均衡而愈低，顯示當載運量愈不均衡時更將促使航商使用較大型船。

綜而言之，港埠效率提高、超大型船之相對成本下降、總航程增加、靠港數目減少或雙向載運量愈不均衡時，將使超大型船的航運經濟性提高、競爭力提升。可知未來在貨物流量增加、超大型船造價下降，以及港埠作業效率提高的預期下，超大貨櫃船的航運經濟性將愈來愈高，超大型貨櫃船必先投入航程較長的航線，如亞洲—歐洲航線、越太平洋航線，航線的靠泊港不多。此一分析結果與航運專家們所預期的一致，惟本模式的數值分析結果可供航商參考，協助航商綜合考量各項因素，更精確估算各航線引入 9,000TEU、12,500TEU 或更大型貨櫃船的最佳時機，完全掌握航線長短、靠港數目、船舶造價等各項因素之影響。

第五章 軸輻網路之直接與轉運路線決策

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。假設一航商在規劃航運服務時以整個航運服務的總航運成本與總存貨成本雙目標最小化為決策依據，當其考慮任一集貨航線貨物是否經當地軸心港轉運或應安排直運航線直接運送至目的集貨區之問題時，可由兩運送路線的成本比較結果作為路線選擇的決策依據。若在某一特定之總存貨成本水準時，直接運送的總航運成本小於轉運的總航運成本，則採直接運送路線，反之，則採轉運路線。

本章首先透過航運成本與存貨成本間的替換關係，分別推導出貨物經軸心港轉運時總航運成本與總存貨成本的數學關係式，以及貨物直接運送時總航運成本與總存貨成本的數學關係式，得據以求得兩運送方案的柏拉圖最佳解，進行直接與轉運路線決策分析。然後，進行單一集貨港範例分析，計算菲律賓地區運往北美西岸貨物經高雄港轉運與直接運送兩情況之柏拉圖最佳解，並以圖示顯示在二維目標值空間上，相較以得到在各航運成本與存貨成本值之最適路線，以及各航線船型與頻次。最後，進行多集貨港範例分析，以圖示顯示泰國、菲律賓與越南三地區貨物經高雄港轉運或直接運送之柏拉圖最佳解，求得三地區貨物在各航運成本與存貨成本之最適路線，以及各航線船型與頻次，並分析貨物載運量、集貨港區位、軸心港費率與效率等因素對決策之影響。

5.1 直接與轉運路線決策模式

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(8)改寫為

$$TC1^m = f \sum_i \left[\alpha_{it} + S_i W_i + B_{it} + D_i^m \left(\frac{S_i}{V_i} + F_i \right) \right] + \sum_i \sum_j \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_i}{R_i} \right) (Q_{ij}^m + Q_{ji}^m) \right] \quad (31)$$

任一航線 m 的總存貨成本改以 $TC2^m$ 表示，其成本函數由式(14)改寫為

$$TC2^m = \frac{91H}{2f} \sum_i \sum_j Q_{ij}^m + H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m \left(W_k + \frac{D_k^m}{V_i} \right) + \frac{H}{f} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m}{R_k} (Q_{kl}^m + Q_{lk}^m) \quad (32)$$

兩成本函數中的參變數 Q_{ij}^m 、 D_i^m 、 T_{ij}^m 與 δ_{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。

本章係以總航運成本與總存貨成本最小化為雙目標進行路線決策，不同於前一章以單位貨櫃航運成本與單位貨櫃存貨成本為雙目標。然而，總航運成本與總存貨成本間亦存在替換關係，其間的數學關係式同樣可由兩成本的數學式經變數轉換簡化後求得，並藉以求得雙目標最小化之柏拉圖最佳解。

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：

$$\Gamma_t^{11,m} = \sum_i \sum_j \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it}}{R_i} + \frac{S_t}{R_i} \right) (Q_{ij}^m + Q_{ji}^m) \right] \quad (33)$$

$$\Gamma_t^{12,m} = \sum_i \left[\alpha_{it} + S_t W_i + B_{it} + D_i^m \left(\frac{S_t}{V_t} + F_t \right) \right] \quad (34)$$

$$\Gamma_t^{21,m} = H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m \left(W_k + \frac{D_k^m}{V_t} \right) \quad (35)$$

$$\Gamma_t^{22,m} = \frac{91H}{2} \sum_i \sum_j Q_{ij}^m + H \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^m \delta_{ijk}^m}{R_k} (Q_{kl}^m + Q_{lk}^m) \quad (36)$$

則航運成本函數與貨物存貨成本函數可改寫如下：

$$TC1^m = \Gamma_t^{11,m} + \Gamma_t^{12,m} f \quad (37)$$

$$TC2^m = \Gamma_t^{21,m} + \Gamma_t^{22,m} (f)^{-1} \quad (38)$$

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

$$(TC1^m - \Gamma_t^{11,m}) (TC2^m - \Gamma_t^{21,m}) = \Gamma_t^{12,m} \Gamma_t^{22,m} \quad (39)$$

式(39)與式(23)相同，明確顯示兩成本間的反向變動關係，且為雙曲線函數，如圖 15 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，

$$f_t^{m-\min} = \frac{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^m Q_{ij}^m}{U_t}, \text{ 並令 } \overline{TC1}_t^m \text{ 與 } \overline{TC2}_t^m \text{ 分別表示在最小頻次時的總航運}$$

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 23 所示。

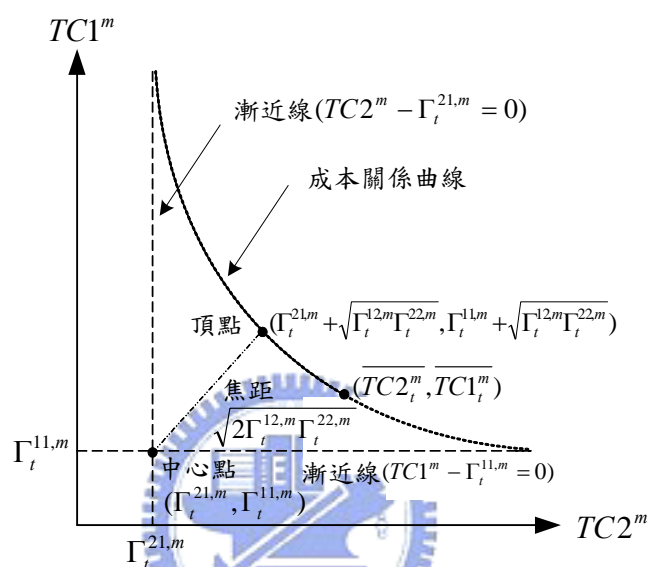


圖 23 任一 t 型船的可行解

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。如圖 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。

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(31)與式(32)中，求得

$$\overline{TC1}_{t^*}^h = \frac{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h}{U_{t^*}} \sum_i \left[\alpha_{it^*} + S_{it^*} W_i + B_{it^*} + D_i^h \left(\frac{S_{it^*}}{V_{it^*}} + F_{it^*} \right) \right] + \quad (40)$$

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_j \left[\left(G_i + \frac{\beta_{it^*}}{R_i} + \frac{S_{it^*}}{R_i} \right) (Q_{ij}^h + Q_{ji}^h) \right] \\ \overline{TC2}_{t^*}^h = & \frac{91HU_{t^*}}{2 \text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h} \left[\sum_i \sum_j Q_{ij}^h + H \sum_i \sum_j \sum_k Q_{ij}^h \delta_{ijk}^h \left(W_k + \frac{D_k^h}{V_{it^*}} \right) \right] + \\ & \frac{HU_{t^*}}{\text{Max}_k \sum_i \sum_j \delta_{ijk}^h Q_{ij}^h} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{Q_{ij}^h \delta_{ijk}^h}{R_k} (Q_{kl}^h + Q_{lk}^h) \end{aligned} \quad (41)$$

5.1.1 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

$$TTC1 = \overline{TC1}_{t^*}^h + TC1^s \quad (42)$$

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

$$TTC2 = \overline{TC2}_{t^*}^h + TC2^s \quad (43)$$

式(42)中的 $TC1^s$ 與式(43)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：

$$TC2^s = \Gamma_t^{21,s} + \frac{\Gamma_t^{12,s} \cdot \Gamma_t^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_t^{11,s}} \quad \text{for } TC1^s \geq \overline{TC1_t^s} \quad (44)$$

式(44)係由式(39)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(33)-(36)所示。進一步，將式(42)-(43)代入式(44)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：

$$TTC2 = \overline{TC2_t^h} + \Gamma_t^{21,s} + \frac{\Gamma_t^{12,s} \cdot \Gamma_t^{22,s}}{TTC1 - \overline{TC1_t^h} - \Gamma_t^{11,s}} \quad \text{for } TTC1 \geq \overline{TC1_t^h} + \overline{TC1_t^s} \quad (45)$$

式(45)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(44)之雙曲線圖形往右平移 $\overline{TC2_t^h}$ 、且往上平移 $\overline{TC1_t^h}$ 。

由前一章述分析可知，依據式(44)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(45)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(45)的函數圖形為式(44)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 $\overline{TC2_t^h}$ 。

5.1.2 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

$$TTC1 = \overline{TC1_t^h} + TC1^s + TC1^d \quad (46)$$

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

$$TTC2 = \overline{TC2_t^h} + TC2^s + TC2^d \quad (47)$$

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：

$$TC2^s = \Gamma_{ti}^{21,s} + \frac{\Gamma_{ti}^{12,s} \cdot \Gamma_{ti}^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_{ti}^{11,s}} \quad \text{for } TC1^s \geq \overline{TC1_{ti}^s} \quad (48)$$

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：

$$TC2^d = \Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TC1^d - \Gamma_{tj}^{11,d}} \quad \text{for } TC1^d \geq \overline{TC1_{tj}^d} \quad (49)$$

將式(48)-(49)代入式(47)中，並以 $TTC1 - \overline{TC1_{ti}^h} - TC1^s$ 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：

$$TTC2 = \overline{TC2_{ti}^h} + \Gamma_{ti}^{21,s} + \frac{\Gamma_{ti}^{12,s} \cdot \Gamma_{ti}^{22,s}}{TC1^s - \Gamma_{ti}^{11,s}} + \Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TTC1 - \overline{TC1_{ti}^h} - TC1^s - \Gamma_{tj}^{11,d}} \quad (50)$$

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

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 ($TC2^d$; $\Gamma_{tj}^{21,d} + \frac{\Gamma_{tj}^{12,d} \cdot \Gamma_{tj}^{22,d}}{TTC1 - \overline{TC1_{ti}^h} - TC1^s - \Gamma_{tj}^{11,d}}$) 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 24 所示。

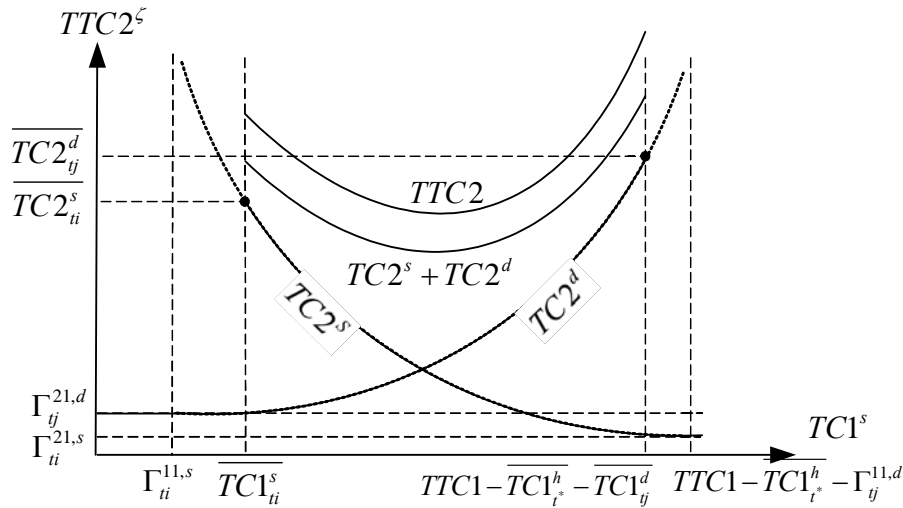


圖 24 當採直接運送時在特定三航線總航運成本($TTC1$)值時三航線總存貨成本($TTC2$)值隨集貨航線航運成本($TC1^s$)值變動示意圖

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 $\overline{TC1}_i^h + \overline{TC1}_{ii}^s + \overline{TC1}_j^d$ 時，該 $TTC2$ 值為 $\overline{TC2}_i^h + \overline{TC2}_{ii}^s + \overline{TC2}_j^d$ ，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 $\overline{TC2}_i^h + \Gamma_{ii}^{21,s} + \Gamma_{ij}^{21,d}$ ，變動趨勢如圖 25 所示。

圖 25 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。

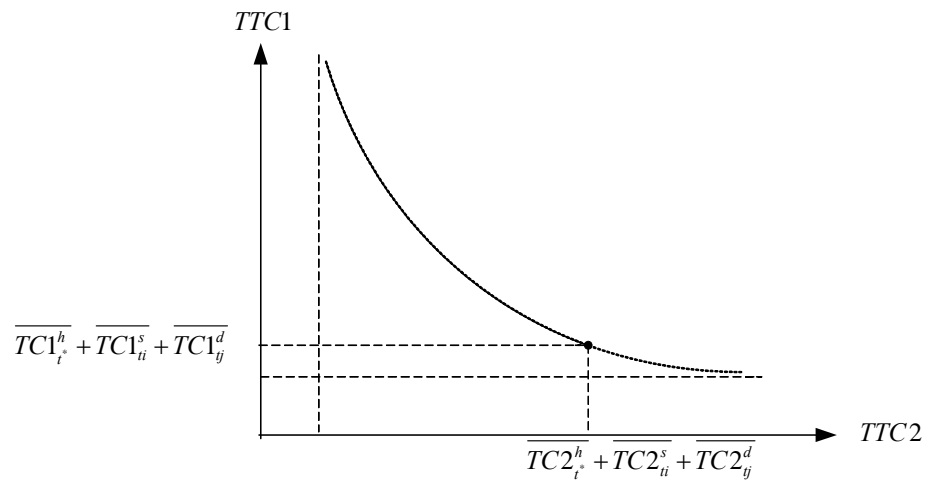


圖 25 採直接運送在集貨航線使用 ti 型船、直運航線使用 tj 型船時的柏拉圖最佳解



5.2 單一集貨港之路線決策分析範例

為瞭解上述模式的運作情形，本研究考慮一航商經營遠東至北美西岸的越太平洋航線，該航商之航線安排採軸輻系統，主航線由高雄港出發，經釜山至洛杉磯，回程時經釜山、香港後返回高雄港。在此，針對菲律賓馬尼拉港之貨物運送做路線決策分析，探討其貨櫃是經高雄港轉運，抑或直接運送較佳。貨物採直接運送與轉運時的主航線、集貨航線、直運航線如圖 26 所示。

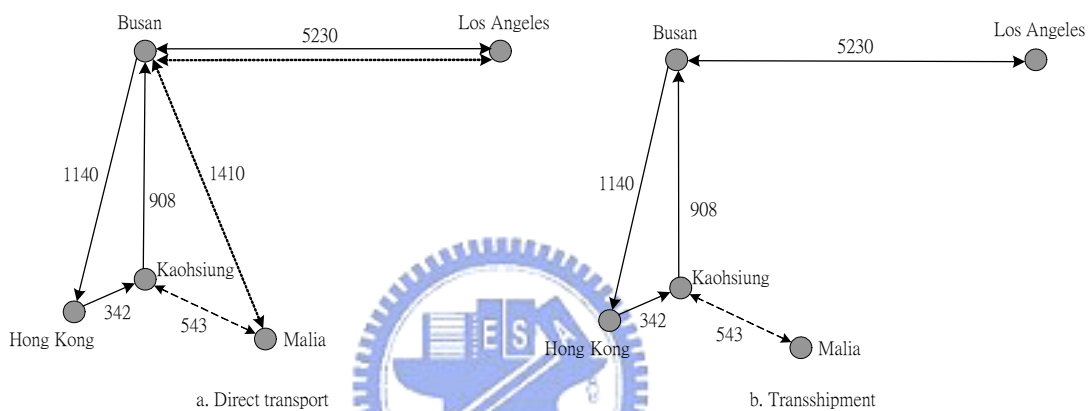


圖 26 直接運送與轉運之各航線

註：圖中數值表示各航段的航程，單位為浬，航程資料引用自 Caney and Reynolds[76]。

假設航商可用船型有五種，分別以 T_i ($i = 1 \sim 5$) 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_{ii}) 如表 21 所示，各型船在港口的港灣費用固定部份 (α_{ii})、變動部份 (β_{ii}) 與單位貨櫃處理成本 (G_i) 以各型船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[77]) 計算。假設該航商載運量在各起迄貨物流量之佔有率為 10%，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[80]) 以及高雄港與菲律賓間的貨物流量(交通部統計處[81]) 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，貨物時間價值 (H) 則參考相關資料估算。

表 21 各型船之船舶相關參數值

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 (浬/日)	504.0	492.0	496.8	600.0	600.0
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/浬)	15.51	20.81	24.32	23.57	29.89
進港燃油成本 B_{ii} (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_{ii})依據王鴻仁 [74] 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。



5.2.1 最適路線、船型與頻次之求解

當馬尼拉港往返北美西岸、東北亞的貨櫃經軸心港高雄轉運，主航線與高雄至馬尼拉集貨航線上均包括馬尼拉往返釜山、北美西岸之貨櫃。在此情況下，計算得到主航線的最小航運成本值為 2.6907872×10^7 美元，相對應之存貨成本值為 7.3117449×10^7 美元，集貨航線的柏拉圖最佳解數學式如下：

$$TC1^s = \begin{cases} 2.0277 \times 10^6 + \frac{2.0014 \times 10^{12}}{TC2^s - 452,685} & \text{for } 452,685 < TC2^s \leq 1.1647 \times 10^6 \\ 1.9730 \times 10^6 + \frac{1.8233 \times 10^{12}}{TC2^s - 528,446} & \text{for } 1.1647 \times 10^6 < TC2^s \leq 4.5037 \times 10^6 \\ 1.9892 \times 10^6 + \frac{2.0490 \times 10^{12}}{TC2^s - 539,995} & \text{for } 5.1704 \times 10^6 \leq TC2^s \leq 6.5314 \times 10^6 \\ 2.0277 \times 10^6 + \frac{2.0014 \times 10^{12}}{TC2^s - 452,685} & \text{for } 7.0489 \times 10^6 \leq TC2^s \leq 9.7012 \times 10^6 \end{cases} \quad (51)$$

由主航線的航運成本值與存貨成本值，以及集貨航線的柏拉圖最佳解，求得轉運之柏拉圖最佳解如圖 27 所示。此轉運之柏拉圖最佳解所對應之集貨航線最適船型包含 T1、T2 與 T4 三種船型，當三航線總存貨成本值($TTC2$)沒有限制或要求低於 7.36×10^7 美元時，集貨航線之最適船型為 T4 船型，當

三航線總存貨成本值要求須小於 8.02×10^7 美元時，集貨航線的最適船型為 T2 船型，當三航線總存貨成本值要求須小於 7.83×10^7 美元時，集貨航線之最適船型為 T1 船型。

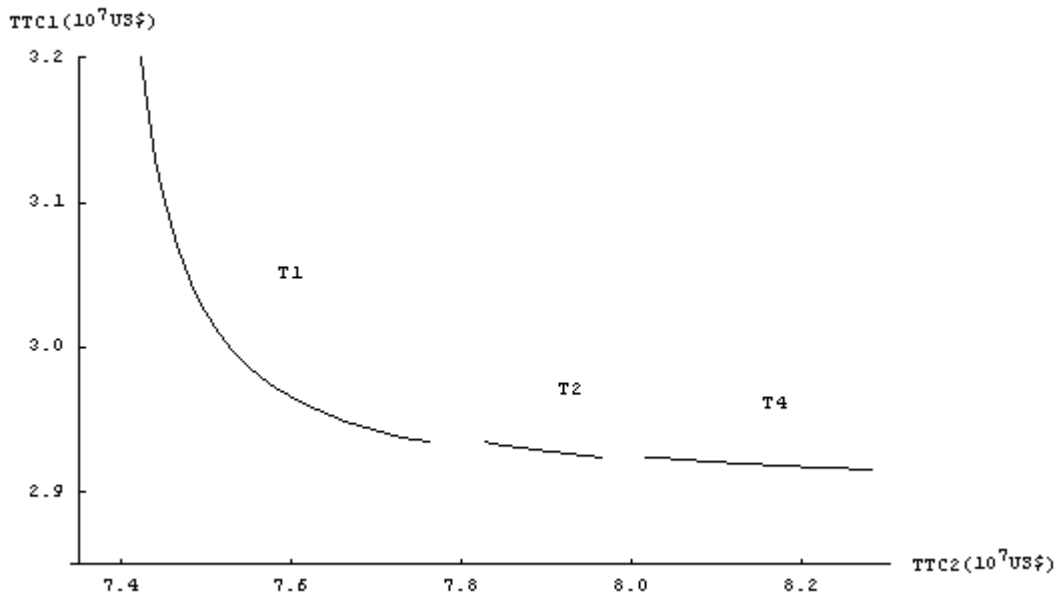


圖 27 轉運之柏拉圖最佳解

當馬尼拉港與北美西岸、東北亞間的貨櫃採直接運送，此時，計算得到主航線的最小航運成本值為 2.500537×10^7 美元，相對應之存貨成本值為 6.933135×10^7 美元，集貨航線與直運航線的柏拉圖最佳解數學式分別如式(52)與式(53)所示：

$$TC1^s = \begin{cases} 833,950 + \frac{7.45174 \times 10^{11}}{TC2^s - 186,173} & \text{for } 186,173 < TC2^s \leq 515,127 \\ 811,440 + \frac{6.78855 \times 10^{11}}{TC2^s - 217,330} & \text{for } 515,127 < TC2^s \leq 4.74098 \times 10^6 \\ 818,083 + \frac{7.62918 \times 10^{11}}{TC2^s - 222,080} & \text{for } 5.54105 \times 10^6 \leq TC2^s \leq 7.04004 \times 10^6 \\ 833,950 + \frac{7.45174 \times 10^{11}}{TC2^s - 186,173} & \text{for } 7.94584 \times 10^6 \leq TC2^s \leq 1.07105 \times 10^7 \end{cases} \quad (52)$$

$$TC1^d = \begin{cases} 1.1938 \times 10^6 + \frac{1.1601 \times 10^{13}}{TC2^d - 2.6364 \times 10^6} & \text{for } 2.6364 \times 10^6 < TC2^d \leq 1.0234 \times 10^7 \\ 1.2234 \times 10^6 + \frac{1.3155 \times 10^{13}}{TC2^d - 2.6364 \times 10^6} & \text{for } 1.1422 \times 10^7 \leq TC2^d \leq 1.2834 \times 10^7 \end{cases} \quad (53)$$

由主航線的航運成本值與存貨成本值，以及集貨航線、直運航線的柏拉圖最佳解，求得直接運送之柏拉圖最佳解與相對應之航線最適船型如圖 28 與表 22 所示。

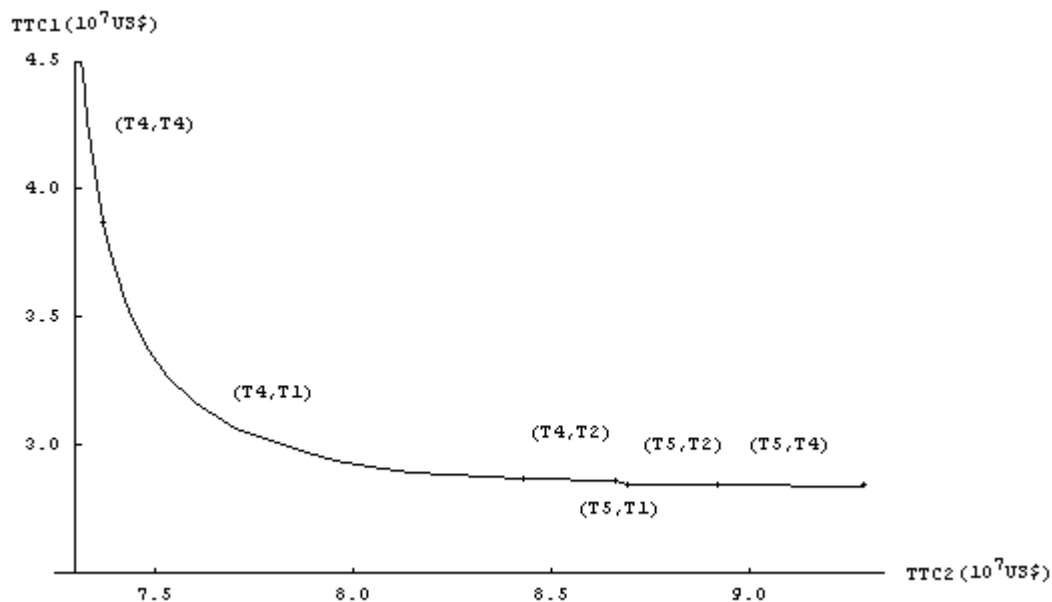


圖 28 直接運送之柏拉圖最佳解

表 22 直接運送之柏拉圖最佳解的航線最適船型

直接運送之柏拉圖最佳解 的存貨成本值($TTC2$) (美元)	航線最適船型	
	直運航線	集貨航線
$TTC2 \leq 7.36 \times 10^7$	T4	T4
$7.36 \times 10^7 < TTC2 \leq 8.43 \times 10^7$	T4	T1
$8.43 \times 10^7 < TTC2 \leq 8.66 \times 10^7$	T4	T2
$8.66 \times 10^7 < TTC2 \leq 8.69 \times 10^7$	T5	T1
$8.69 \times 10^7 < TTC2 \leq 8.92 \times 10^7$	T5	T2
$8.92 \times 10^7 < TTC2 \leq 10.92 \times 10^7$	T5	T4

同時將轉運與直接運送之柏拉圖最佳解同時顯示在目標值空間上(如圖 29)，顯示當總存貨成本值介於 7.385×10^7 美元與 8.015×10^7 美元之間時採轉運較佳，而當總存貨成本值要求須低於 7.385×10^7 美元，或可高於 8.015×10^7 美元時採直接運送較佳。

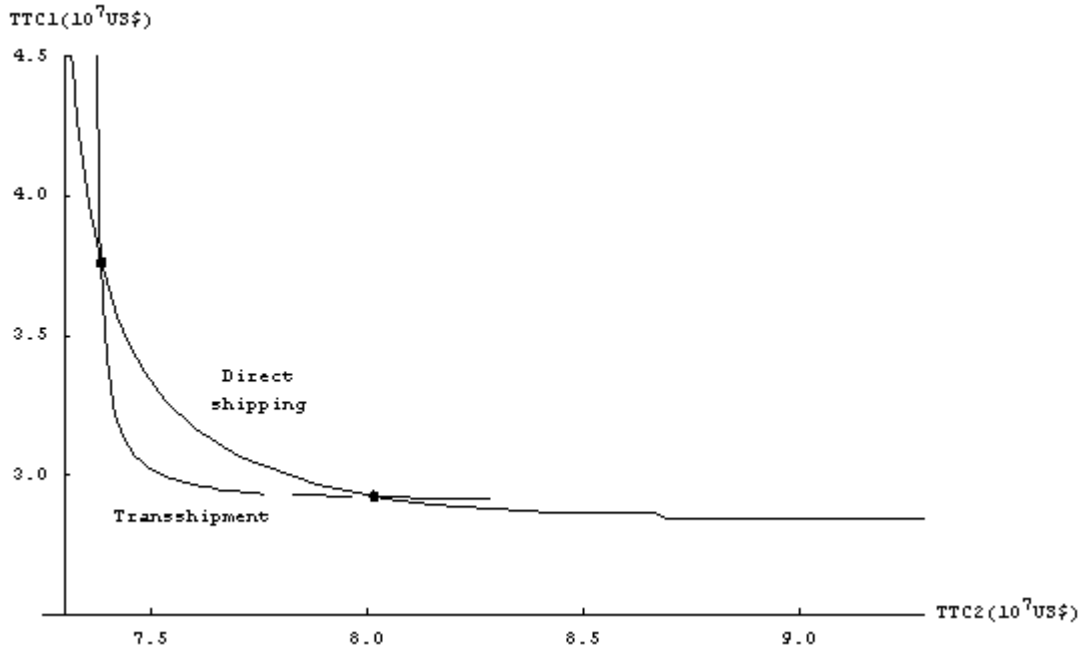


圖 29 轉運與直接運送之柏拉圖最佳解比較

5.2.2 載運量對路線選擇影響之分析

考慮馬尼拉與高雄間的區內貨物載運量維持不變，而馬尼拉與釜山、洛杉磯之間的貨物載運量增加五倍，將得到直接運送與轉運之柏拉圖最佳解，如圖 30。圖中顯示直接運送的柏拉圖最佳解恆低於轉運之柏拉圖最佳解，則無論存貨成本為何，路線決策均以採直接運送較佳，可推論當目標集貨港與另一區間的貨物載運量增加，決策傾向採直接運送。

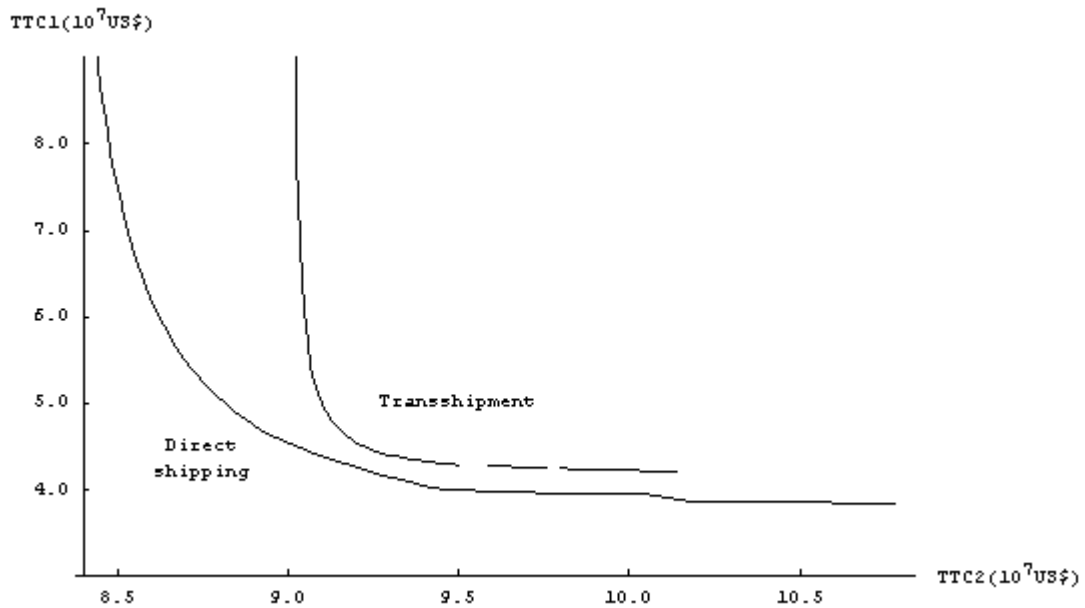


圖 30 載運量增加後之兩路線柏拉圖最佳解

5.3 多集貨港之路線決策分析範例

進一步探討多個集貨港之路線決策，由於海運的航運網路相當複雜，在此僅選擇一條主航線與三條集貨航線為例，闡釋上述模式的運作情形。本研究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。在此探討此三地區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 31 所示。

在實務上，不同航商對於同一起迄點貨物可能選擇不同的軸心港進行轉運。目前，菲律賓與北美西岸間的貨櫃運送大多航商選擇在高雄港轉運；越南地區與北美西岸間的貨櫃運送部份航商選擇在高雄港轉運，部份航商選擇在香港轉運；泰國地區與北美西岸間的貨櫃運送，有航商選擇在高雄港轉運，有航商選擇在新加坡轉運，亦有航商安排遠洋航線直接運送至北美西岸。

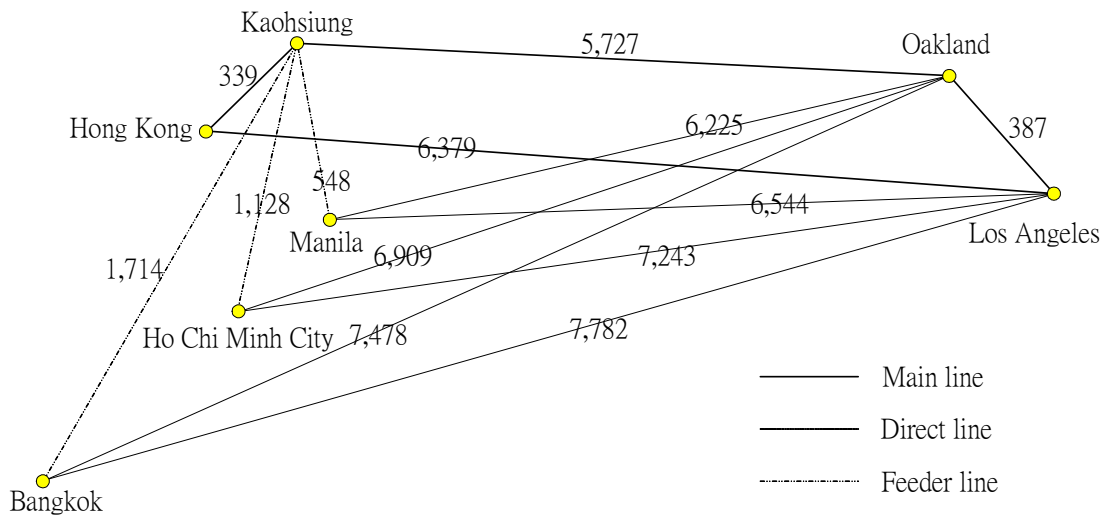


圖 31 多集貨港範例之航運網路圖

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_{ii}) 如表 23 所示。各型船在港口的港灣費用固定部份 (α_{ii})、變動部份 (β_{ii}) 與單位貨櫃處理成本 (G_i) 如表 24 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 25 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[80])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[81])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 23 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 (哩/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) ¹	21,289	21,940	22,865	23,571	24,360	25,813
單位距離燃油成本 F_i (美元/哩) ¹	13.65	15.51	20.81	24.32	23.57	29.89
進港燃油成本 B_{ii} (美元/次) ²	68.23	77.62	104.05	121.59	117.84	149.44

註：1. 依據王鴻仁[74]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 24 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 α_{ii} (美元/次) ¹	2,832	3,377	3,497	3,859	3,987	4,241
港灣費用變動部份 β_{ii} (美元/日) ¹	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) ¹	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[77])計算。

表 25 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	

5.3.1 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：

$$TC1^h = \begin{cases} 2.215 * 10^7 + \frac{5.598 * 10^{14}}{TC2^h - 5.090 * 10^7} & \text{for } 5.090 * 10^7 < TC2^h \leq 7.675 * 10^7, \\ 2.270 * 10^7 + \frac{6.347 * 10^{14}}{TC2^h - 5.090 * 10^7} & \text{for } 8.098 * 10^7 \leq TC2^h \leq 8.560 * 10^7. \end{cases} \quad (54)$$

如圖 32 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。

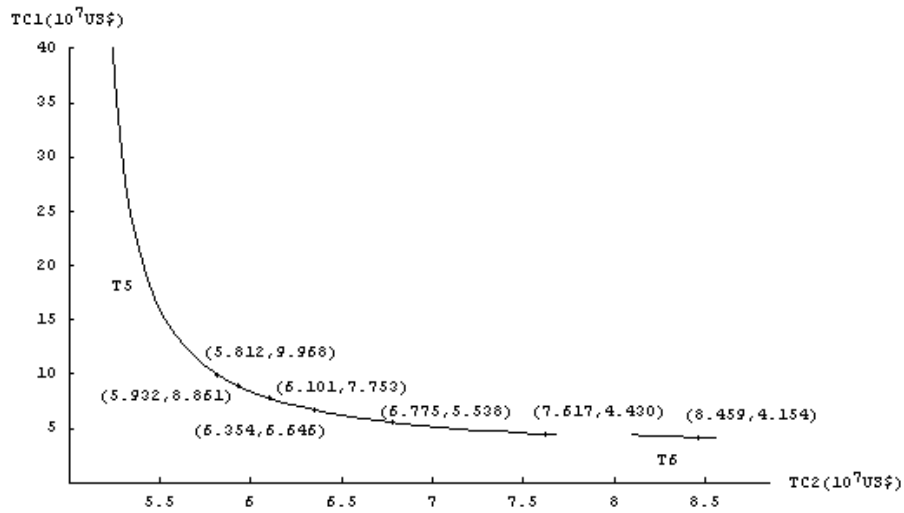


圖 32 主航線在所有貨物均轉運時的柏拉圖最佳解與實務可行解

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 26 所示。表 26 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 4.154×10^7 美元，存貨成本為 8.459×10^7 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 26 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	4.154×10^7	8.459×10^7	-1.7882
2	T5	4.430×10^7	7.617×10^7	-1.1410
3	T5	5.538×10^7	6.775×10^7	-0.5070
4	T5	6.646×10^7	6.354×10^7	-0.2851
5	T5	7.753×10^7	6.101×10^7	-0.1825
6	T5	8.861×10^7	5.932×10^7	-0.1267
7	T5	9.968×10^7	5.812×10^7	-0.0931

5.3.2 路線決策分析

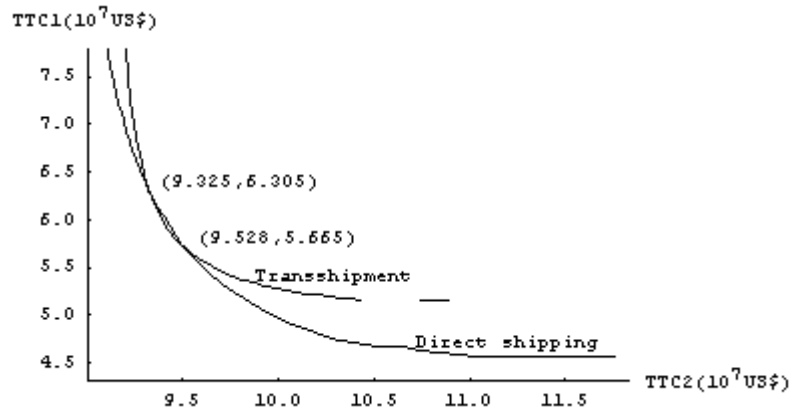
任一集貨區貨物是否經高雄港轉運，抑或採直接運送，可以運用構建的路線決策模式，求得直接運送與轉運兩方案的柏拉圖最佳解，決定在不同存貨成本水準下的最佳運送路線、各航線船型與頻次。在此同樣以數學軟體 Mathematica 4.0 撰寫程式，分別分析泰國、菲律賓與越南地區貨物是否改採直接運送。求得三地區貨物在另兩地區貨物採轉運之情境下經軸心港高雄轉運或採直接運送時的柏拉圖最佳解如圖 33(a)~(c)，以及三地區貨物在不同航運成本值($TTC1$)與存貨成本值($TTC2$)的最適路線、各航線船型與頻次如表 27(a)~(c)。

圖 33(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 9.325×10^7 與 9.528×10^7 美元時採轉運較佳，而當總存貨成本值要求須低於 9.325×10^7 美元或高於 9.528×10^7 美元時則採直接運送較

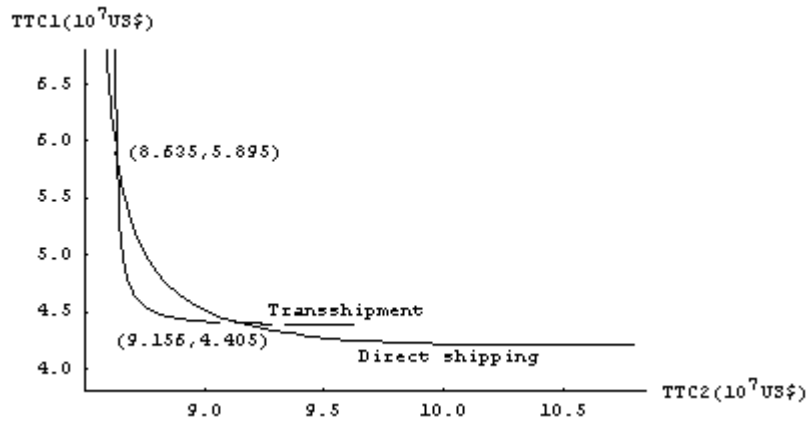
佳。圖 33(b)與 33(c)分別顯示菲律賓與越南地區貨物的兩運送方案柏拉圖最佳解，同樣的兩圖中兩運送方案柏拉圖最佳解曲線亦相交於兩點，顯示當總存貨成本值介於兩點之間採轉運較佳，而在兩點之外則採直接運送較佳。惟圖 33(a)中兩交點間的區域極小，可知在路線決策方面，泰國地區貨物較傾向採直接運送，而菲律賓、越南地區貨物較傾向轉運。三地區路線決策之差異主要導因於各地區貨物載運量大小不同、航程長短與集貨港區位互異。三地區中貨物載運量以泰國最大、菲律賓其次、越南最小，集貨航線航程以泰國最遠、越南其次、菲律賓最近，顯示當貨物載運量大、與軸心港間距離遠時決策傾向採直接運送，反之則採轉運。

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。

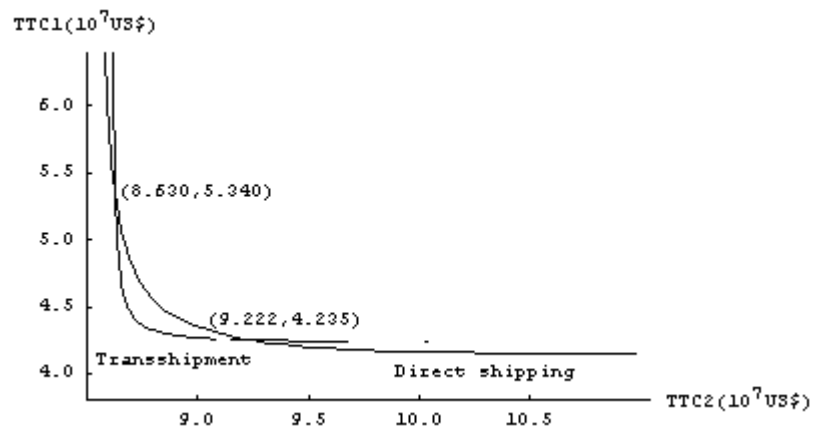




(a) 泰國地區



(b) 菲律賓地區



(c) 越南地區

圖 33 三地區貨物轉運與直接運送之柏拉圖最佳解

表 27(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 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
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

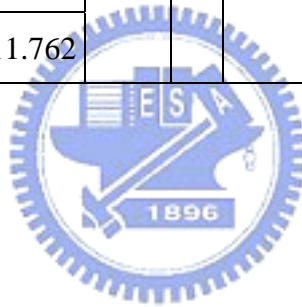


表 27(b) 菲律賓地區貨物在各航運成本與存貨成本值之最適路線、航線船型與頻次

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 ~ ∞	8.506 ~ 8.635	直接 運送	T6	1.33	T5	1.33 ~ ∞	T5	3.33 ~ ∞
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 27(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 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
5.340 ~ ∞	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 27 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 34(a)-(d)。

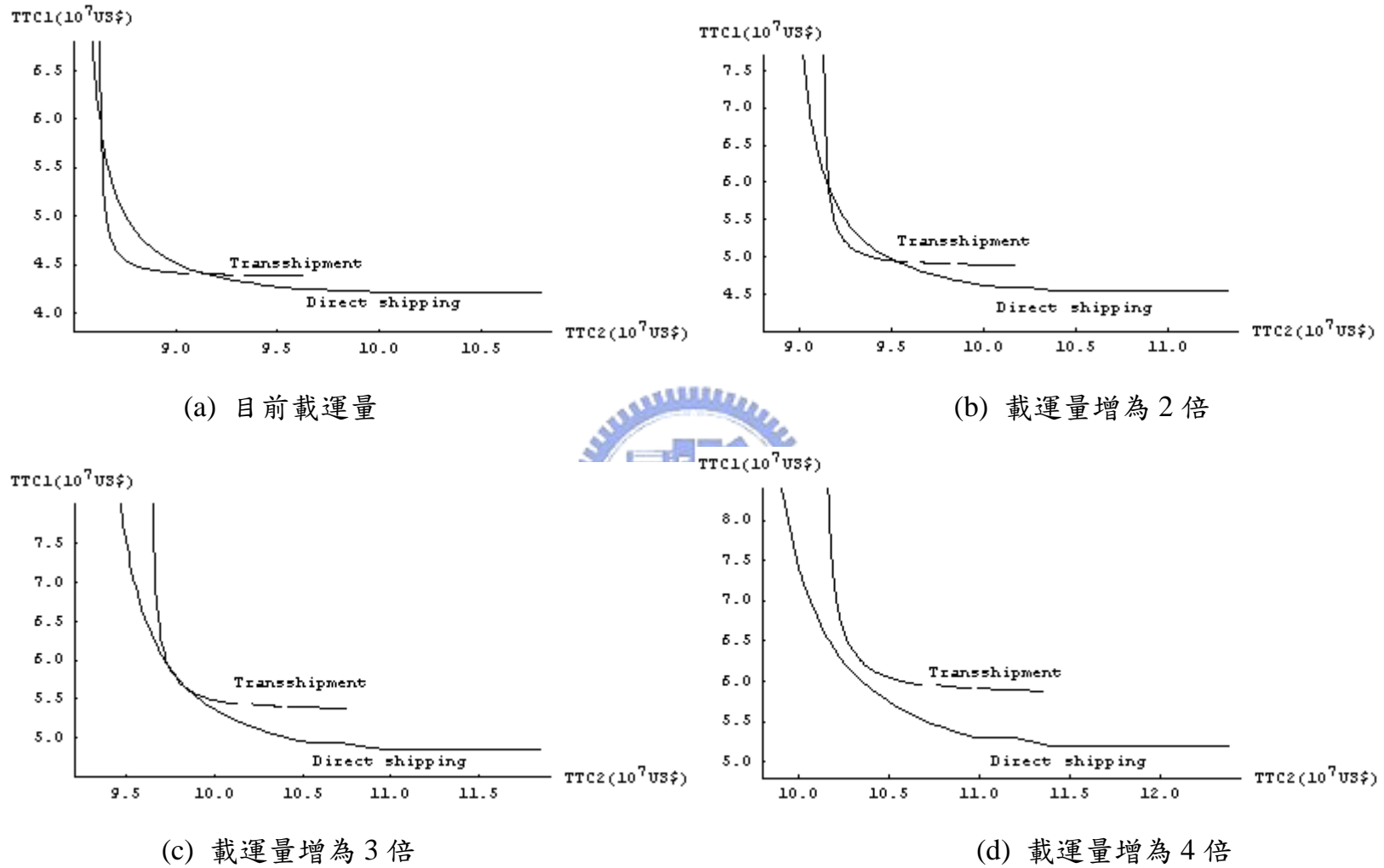


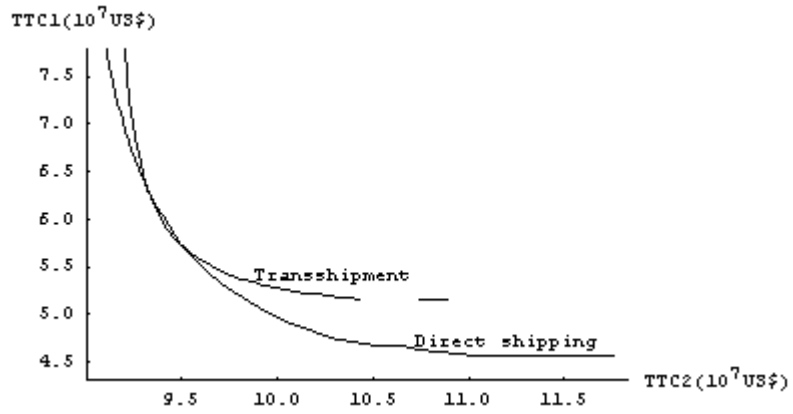
圖 34 集貨區與目的港間載運量對路線決策之影響

圖 34 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 34(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。

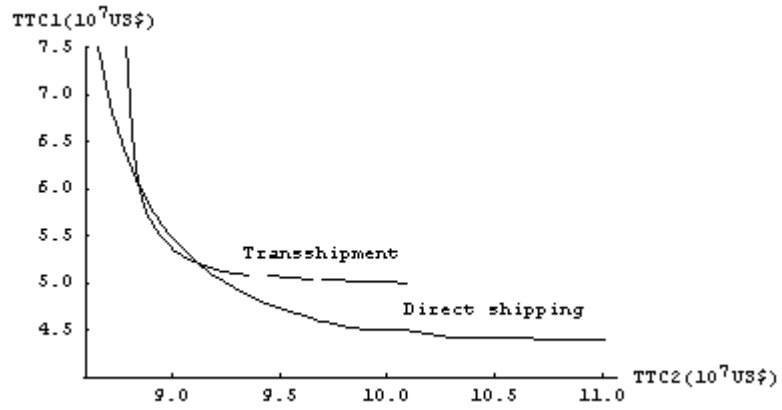
2. 集貨港區位之影響

集貨港區位亦是影響路線決策的因素之一，以高雄港為例，越太平洋航線之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 35(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 35(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。

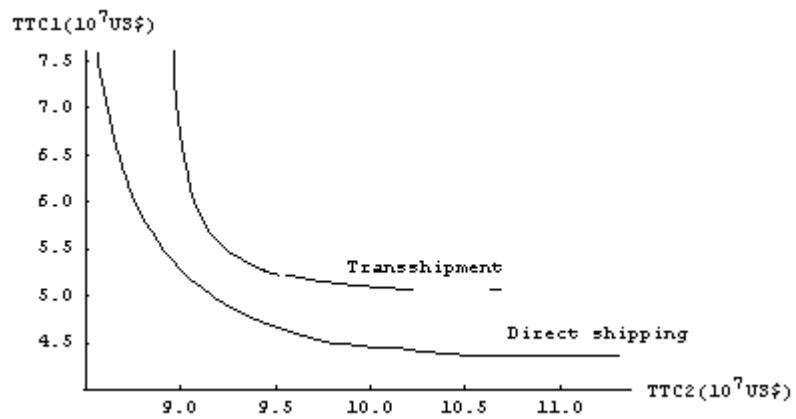




(a) 泰國地區



(b) 菲律賓地區



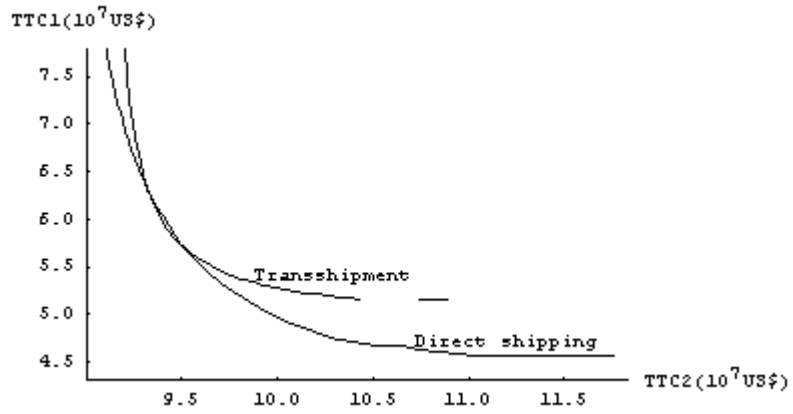
(c) 中國東北地區(大連港)

圖 35 集貨港區位對路線決策之影響

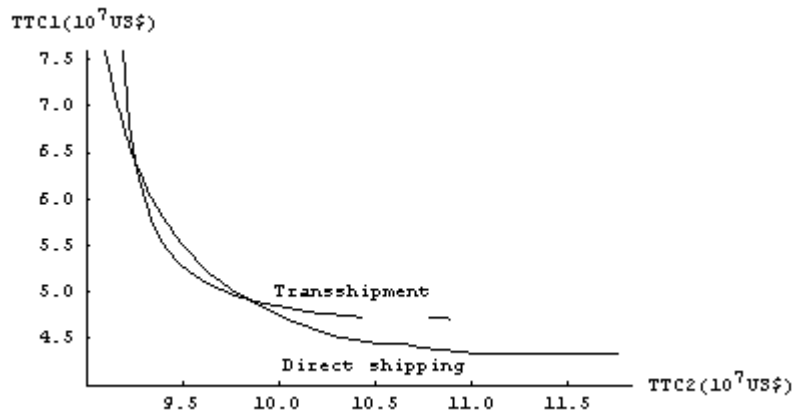
3. 軸心港費率與效率之影響

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 36(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 36(c)顯示當高雄港的裝卸效率提高為每小時 140TEU、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。

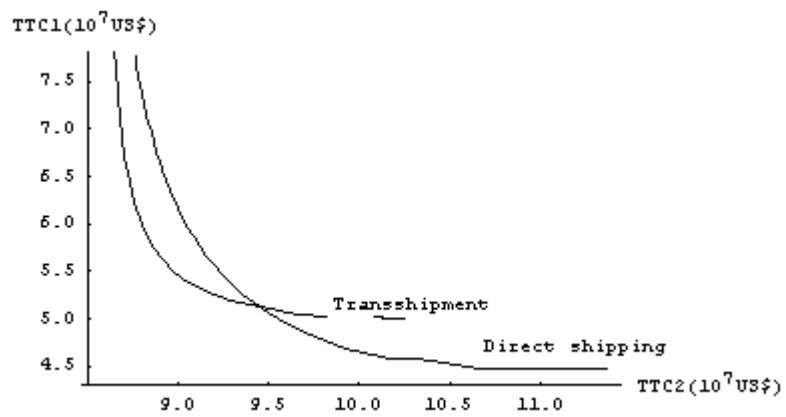
效率提高與費率下降的效果不同。對港務當局而言，降低費率是最直接的手段，透過減收貨櫃船灣靠港口的港灣費用或貨櫃裝卸費用等方式，將使貨櫃在軸心港的港埠成本下降，促使轉運的相對航運成本下降。如南韓釜山港近幾年即採低價策略，以吸引中國大陸東北地區的貨櫃經釜山港轉運，此一策略確實有效，不但使釜山港的貨櫃裝卸量大增，且使釜山港成為東北亞最重要的轉運港。提高作業效率係透過降低貨櫃與船舶在軸心港轉運的時間，以降低存貨成本，並由船舶時間成本的減少同時降低航運成本，惟提高作業效率，必須透過改善港埠硬體設施或採用管理手段以達成目的。如高雄港務局的貨櫃碼頭係出租給航商或貨櫃裝卸公司負責營運，民營公司將本求利，作業效率自然提高，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 36 高雄港費率與效率變動對路線決策之影響

4. 頻次為離散值之決策

實務上航商提供以週為單位的服務頻次，在各航線提供特定頻次的服務，使得直接運送與轉運方案的柏拉圖最佳解為數個離散點，則路線、船型與頻次決策仍可透過構建的模式求得。表 28 顯示當主航線的服務頻次為兩週三班，集貨航線與直運航線的服務頻次為每週一班時的柏拉圖最佳解，以及任一解所對應之運送路線與各航線船型。離散解總共有 26 組，依運送路線可分為四群。若航商希望系統的航運成本與存貨成本總合最低，則泰國地區貨物直接運送，菲律賓與越南地區貨物採轉運較佳；若航商無論存貨成本高低，只在乎總航運成本大小，則三地區貨物均採轉運最佳。

表 28 當主航線頻次兩週三班、集貨航線與直運航線頻次為每週一班時的柏拉圖最佳解

系統總航運成本值 (美元)	系統總存貨成本值 (美元)	運送路線			各航線船型 ¹
		泰國	菲律賓	越南	
5.9×10^7	10.5×10^7	轉運	轉運	轉運	{T6,T5,--,T1,--,T2,--},{T6,T5,--,T2,--,T2,--}, {T6,T5,--,T5,--,T2,--},{T6,T5,--,T5,--,T5,--}.
6.1×10^7	10.3×10^7	直接運送	轉運	轉運	{T5,T2,T5,T1,--,T2,--},{T5,T2,T5,T2,--,T2,--}, {T5,T2,T5,T5,--,T2,--},{T5,T5,T5,T1,--,T2,--}, {T5,T5,T5,T2,--,T2,--},{T5,T5,T5,T5,--,T2,--}, {T5,T5,T5,T5,--,T5,--},
7.4×10^7	8.8×10^7	直接運送	直接運送	轉運	{T5,T2,T5,T2,T5,T2,--}, {T5,T2,T5,T2,T5,T5,--}, {T5,T2,T5,T5,T5,T2,--}, {T5,T5,T5,T2,T5,T2,--}, {T5,T5,T5,T2,T5,T5,--}, {T5,T5,T5,T5,T5,T2,--}, {T5,T5,T5,T5,T5,T5,--},
8.5×10^7	8.6×10^7	直接運送	直接運送	直接運送	{T5,T2,T5,T2,T5,T2,T2},{T5,T2,T5,T2,T5,T2,T5}, {T5,T2,T5,T5,T5,T2,T2},{T5,T2,T5,T5,T5,T2,T5}, {T5,T5,T5,T2,T5,T2,T2},{T5,T5,T5,T2,T5,T2,T5}, {T5,T5,T5,T5,T5,T2,T2},{T5,T5,T5,T5,T5,T2,T2},

註：依序分別表示主航線、泰國集貨航線、泰國直運航線、菲律賓集貨航線、菲律賓直運航線、越南集貨航線、越南直運航線七條航線的船型。

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究之具體結論彙整如下：

1. 發展一個以航運成本與存貨成本最小化之雙目標模式，探討軸輻海運網路下貨櫃運送之路線、船型與頻次決策。不同於過去文獻以航運成本與存貨成本總合為單一目標，或僅以航運成本為單一目標之決策，提出的雙目標模式，可求得在不同航運成本與存貨成本目標達成程度下，任一航線的最適船型與頻次，以及軸輻網路之直接與轉運路線決策，使得航商決策更具彈性，獲得較佳的規劃結果。
2. 航運成本與存貨成本雙目標的數學函數，係運用解析性方法分析多港靠泊航線的運送過程以構建。其中，航運成本包括航商擁有與使用船舶須固定花費或分攤的船舶時間成本、船舶航行所須耗費的燃油成本，以及船舶在各港口灣靠與裝卸貨櫃所支付的港埠成本；而存貨成本則考慮因航運服務所發生的存貨成本，包括貨櫃在出發港等待運送之等待時間成本，以及在船上運送途中的航運時間成本。
3. 運用解析性方法構建的成本函數，不但將所有關鍵因素均納入考量，得深入分析航程、航速、港埠費率、港埠效率等因素對決策之影響，且構建的兩成本函數為貨物載運量、船舶大小相依的函數，直接將流量規模經濟效益表現於成本函數中，可據以分析船型與路線決策隨貨物載運量變動之趨勢，探討流量規模經濟對決策之影響。
4. 雙目標模式的柏拉圖最佳解係透過兩目標間的替換關係所得到。由航運成本與存貨成本間存在此消彼漲的替換關係，推導出兩成本的數學關係式。然後，由數學關係式的函數形式為雙曲線數學函數，得明確以圖示方式顯示在二維目標值空間上，則在二維目標值空間上可決定雙目標最小化的柏拉圖最佳解。
5. 在目標值空間上分析兩型貨櫃船的所有可能決策結果顯示：透過在目標值空間上的分析，得以圖示顯示在各存貨成本水準下的最適船型。存貨成本對於船型決策之影響亦由圖形明確顯示，當沒有存貨成本限制時，以使用最小航運成本較小的船型較佳，若有限制則改以小型船提供高頻

次服務，或使用航速較快的船型較佳。如此以圖示顯示相關因素對決策之影響，將所有決策資訊透明顯示，可輔助航商綜合考量後做決策。

6. 在目標值空間上分析貨物載運量變動之影響結果顯示：隨貨物載運量增加，將使最小航運成本較小之船型是較佳決策的可能性提高，此一推論經推導船型決策臨界點隨貨物載運量變動的數學關係式，得明確以圖示顯示船型決策隨貨物載運量變動而改變的情形。由貨物載運量增加使得成本關係曲線移動的現象，可說明航商藉聯營合作得擴大航線載運量、增大運送船型或提高運送頻次以降低航運成本，解釋實務上航商普遍採用聯營之經營方式。
7. 在船型與頻次決策方面，以一越太平洋航線為範例進行分析，並運用模式探討超大型貨櫃船投入營運的航運經濟性；在軸輻網路的直接與轉運路線決策方面，以遠東地區運往北美西岸貨物是否經高雄港轉運為範例進行分析。範例分析結果不僅驗證理論推導結果，亦闡述模式的實用性與應用價值。
8. 以一越太平洋航線為範例進行船型與頻次決策分析，不但計算得到該航線的柏拉圖最佳解與實務可行解，並以圖示方式顯示船型決策隨貨物載運量變動之情形，亦即隨著貨物載運量的增加，決策傾向使用較具規模經濟性的大型貨櫃船。此外，敏感度分析結果顯示：最適船型隨航程長度的增加而增大，隨靠泊港數目的增加而減少，且隨港埠效率的提高而增大。
9. 運用模式探討超大型貨櫃船航運經濟性之結果顯示：在目前載運量下，雖然超大型貨櫃船有船舶規模經濟性，但在每週一班的航運服務情況下，仍以使用目前的營運船型較具競爭優勢。惟預期未來貨物流量隨全球貿易熱絡而增加，將使得船型決策隨貨物載運量之增加而傾向採用更大型貨櫃船。
10. 本研究並計算出各大型或超大型貨櫃船投入營運的最低載運量，分析出隨港埠效率提高、航程增加、靠港數目減少、雙向載運量不均衡或超大型船成本相對下降時，將使超大型船的航運經濟性提高、競爭力提升。此一數值分析結果可供航商參考，協助航商綜合考量各項成本，更精確估算各航線引入 9,000TEU、12,500TEU 或更大型貨櫃船的最佳時機，完全掌握航線長短、靠港數目、船舶造價等各項因素之影響。

11. 以遠東運往北美西岸貨物是否經高雄港轉運之路線決策範例分析結果顯示：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，此一路線決策結果與目前航運市場之航運安排現況相符合。敏感度分析結果可闡述實務上貨物載運量增加有利於直接運送，而軸心港費率下降或作業效率提升有吸引貨物轉運之特性。
12. 在附錄部份，運用模式推估亞太航運網路隨中國與區域經濟發展之可能轉變。分析結果推論：隨著中國與區域經濟的持續成長與貨量的快速增加，亞太航運網路中將有愈來愈多的遠洋航線直靠港與直運航線，軸心港高雄與釜山將受中國廈門港與青島港之影響。其中，廈門港的貨櫃量成長快速而港口地理區位不比高雄港差，若高雄港無法保持競爭優勢，其軸心港地位可能被廈門港取代；而釜山港的貨量較高、地理區位較中國華北與東北港口佳，短期內應能保有其軸心港地位。推估結果可提供貨櫃航商、貨櫃場站業者與港埠經營者等人在規劃未來經營藍圖或因應未來變革之參考。

6.2 建議

1. 由本研究之分析結果可闡釋航商藉聯營合作得擴大航線載運量、增大運送船型或提高運送頻次，以降低航運成本，解釋實務上航商普遍採用聯營之經營模式。進一步，基於航商間的合作與競爭影響貨物載運量大小，可運用構建的模式分析比較不同的航商聯營合作策略，並進而推估航商利潤，透過利潤分析以評估不同競爭策略之優劣。
2. 在船型與頻次決策部份，構建的模式除進行單一航線的船型與頻次決策分析，探討超大型貨櫃船投入營運的航運經濟性外，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。
3. 在軸輻網路的路線決策部份，構建的模式除進行直接與轉運路線決策分析外，亦可應用以探討軸心港間的港埠競爭與港口選擇課題，或者探討未來超大型貨櫃船投入營運後之運送路線改變課題。

4. 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。



參考文獻

1. 許巧鶯，彭美珠，「海運公司之複合快速運送營運策略分析」，運輸計劃季刊，第三十二卷，第四期，715~744 頁，民國九十二年。
2. Daganzo, C. F., Logistics System Analysis, Springer-Verlag Press, Berlin, Heidelberg, 1991.
3. Blumenfeld, D. E., Burns, L. D., Diltz, J. D., Daganzo, C. F., “Analyzing Trade-offs between Transportation, Inventory and Production Costs on Freight Networks”, Transportation Research B, Vol. 19, No. 5, pp. 361-380, 1985.
4. Hall, R. W., “Direct versus Terminal Freight Routing on a Network with Concave Costs”, Transportation Research B, Vol. 21, No. 4, pp. 287-298, 1987.
5. 許巧鶯，王志青，「軸輻航空貨運網路之直接與轉運路線選擇」，運輸計劃季刊，第二十六卷，第一期，95~118 頁，民國八十六年。
6. 許巧鶯，蕭國洲，「廠商以航空貨運中心為轉運站之研究」，運輸計劃季刊，第二十七卷，第二期，213~244 頁，民國八十七年。
7. Jansson, J. O., Shneerson, D., “A Model of Scheduled Liner Freight Services: Balancing Inventory Cost against Shipowners’ Costs”, Logistics and Transportation Review, Vol. 21, No. 3, pp. 195-215, 1985.
8. Pope, J. A., Talley, W. K., “Inventory Costs and Optimal Ship Size”, Logistics and Transportation Review, Vol. 24, No. 2, pp. 107-120, 1988.
9. Flynn, J., Ratick S., “A Multiobjective Hierarchical Covering Model for the Essential Air Services Program”, Transportation Science, Vol. 22, pp. 139-147, 1988.
10. Tzeng, G. H., Shiau, T. A., “Multiple Objectives Programming for Bus Operation: a Case Study for Taipei City”, Transportation Research B, Vol. 22, pp. 195-206, 1988.
11. Teodorovic, D., Krcmar-Nozic, E., “Multicriteria Model to Determine Flight Frequencies on an Airline Network under Competitive Conditions”, Transportation Science, Vol. 23, pp. 14-25, 1989.

12. Fu, Z., Wright, M., “Train Plan Model for British Rail Freight Services through the Channel Tunnel”, Journal of the Operational Research Society, Vol. 45, pp. 384-391, 1994.
13. Israeli, Y., Ceder, A., “Multi-Objective Approach for Designing Transit Routes with Frequencies”, In: Bianco, L., Toth, P. (Eds.), Advanced Methods in Transportation Analysis, Springer, Berlin, pp. 157-182, 1996.
14. Teodorovic, D., Lucic, P., “A Fuzzy Set Theory Approach to the Aircrew Rostering Problem”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 95, No. 3, pp. 261-271, 1998.
15. Chang, Y. H., Yeh, C. H., Shen, C. C., “A Multiobjective Model for Passenger Train Services Planning: Application to Taiwan’s High-Speed Rail Line”, Transportation Research B, Vol. 34, pp. 91-106, 2000.
16. Hsu, C. I., Wen, Y. H., “Application of Gray Theory and Multiobjective Programming towards Airline Network Design”, European Journal of Operational Research, Vol. 127, No. 1, pp. 44-68, 2000.
17. Ghoseiri, K., Szidarovszky, F., Asgharpour, M. J., “A Multi-Objective Train Scheduling Model and Solution”, Transportation Research B, Vol. 38, pp. 927-952, 2004.
18. Rana, K., Vickson, R. G., “A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of a Time-Chartered Containership”, Transportation Science, Vol. 22, No. 2, pp. 83-95, 1988.
19. Cho, S. C., Perakis, A. N., “Optimal Liner Fleet Routing Strategies”, Maritime Policy and Management, Vol. 23, No. 3, pp. 249-259, 1996.
20. Powell, B. J., Perakis, A. N., “Fleet Deployment Optimization for Liner Shipping: An Integer Programming Model”, Maritime Policy and Management, Vol. 24, No. 2, pp. 183-192, 1997.
21. Sambracos, E., Paravantis, J. A., Tarantilis, C. D., and Kiranoudis, C. T., “Dispatching of Small Containers via Coastal Freight Liners: the Case of the Aegean Sea”, European Journal of Operational Research, Vol. 152, pp. 365-381, 2004.
22. 盧華安，「定期貨櫃航線設計之研究」，運輸計劃季刊，第三十一卷，第一期，121~142 頁，民國九十一年。
23. 盧華安，徐育彰，「定期貨櫃航線選擇與船隊部署之研究」，運輸計劃季刊，第三十卷，第三期，577~602 頁，民國九十年。

24. 陳春益，邱明琦，「貨櫃航線網路設計模式之研究」，運輸計劃季刊，第三十一卷，第二期，267~298 頁，民國九十一年。
25. 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，317~326 頁，民國八十九年十月。
26. Ronen, D., "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems", European Journal of Operational Research, Vol. 12, pp. 119-126, 1983.
27. Ronen, D., "Ship Scheduling: the Last Decade", European Journal of Operational Research, Vol. 71, pp. 325-333, 1993.
28. Christiansen, M., Fagerholt, K., and Ronen, D., "Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives", Transportation Science, Vol. 38, No. 1, pp. 1-18, 2004.
29. Jansson, J. O., Shneerson, D., Liner Shipping Economics, First published, Chapman and Hall Ltd, London, 1987.
30. 董孝行，「貨櫃船規模經濟的分析」，運輸計劃季刊，第十五卷，第二期，279~299 頁，民國七十五年。
31. 董孝行，「貨櫃船最適船型之研究」，運輸計劃季刊，第十五卷，第三期，435~459 頁，民國七十五年。
32. Cullinane, K., Khanna, M., "Economies of Scale in Large Container Ships", Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 33, Part 2, pp. 185-208, 1999.
33. Cullinane, K., Khanna, M., "Economies of Scale in Large Containerships: Optimal Size and Geographical Implications", Journal of Transport Geography, Vol. 8, pp. 181-195, 2000.
34. McLellan, R. G., "Bigger Vessels: How Big is Too Big?", Maritime Policy and Management, Vol. 24, No. 2, pp. 193-211, 1997.
35. Lim, S. M., "Economies of Scale in Container Shipping", Maritime Policy and Management, Vol. 25, No. 4, pp. 361-373, 1998.
36. Robinson, R., Asian Hub/Feeder Net: the Dynamics of Restructuring, Maritime Policy and Management, Vol. 25, No. 1, pp. 21-40, 1998.
37. 王克尹，「超大型貨櫃船之發展及其影響探討」，高雄港，第十七卷，第五期，民國九十二年。

38. 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，民國九十二年。
39. Bendall, H. B., Stent, A. F., “A Scheduling Model for a High Speed Containership Service: a Hub and Spoke Short-Sea Application”, International Journal of Maritime Economics, Vol. 3, pp. 262-277, 2001.
40. Mourão, M. C., Pato, M. V., Paixão, A. C., “Ship Assignment with Hub and Spoke Constraints”, Maritime Policy and Management, Vol. 29, No. 2, pp. 135-150, 2001.
41. 謝尚行，張斐茹，「軸輻路網模式在定期貨櫃船定線之應用」，運輸計劃季刊，第三十卷，第四期，871~890 頁，民國九十年。
42. O’Kelly, M. E., “The Location of Interacting Hub Facilities”, Transportation Science, Vol. 20, No. 2, pp. 92-105, 1986.
43. O’Kelly, M. E., “A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities”, European Journal of Operational Research, Vol. 32, pp. 393-404, 1987.
44. 謝尚行，游至誠，王賢崙，「允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸輻路網模式」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會，891~899 頁，民國九十年十一月。
45. Drewry Shipping Consultants, Annual Container Market Review & Forecast 2004/05, Drewry Shipping Consultants Ltd., London.
46. Containerisation International, Vol. 39, No. 1, pp. 5-7, 2006; Vol. 39, No. 3, pp. 5-7, 2006.
47. Containerisation International, Vol. 39, No. 2, pp. 5-7, 2006.
48. Containerisation International, Vol. 38, No. 11, pp. 61-65, 2005.
49. Containerisation International, Vol. 39, No. 2, pp. 5-7, 2006; Vol. 36, No. 6, pp. 5-7, 2003; Vol. 34, No. 1, p. 9, 2001.
50. 傅衡宇，「策略聯盟夥伴選擇評估準測之研究」，國立臺灣海洋大學航運管理研究所，碩士論文，民國八十六年。
51. 王立志，系統化運籌與供應鏈管理，滄海書局，民國八十八年。
52. Caracostas, N., “Containership Economics for Effective Decision-Making Analysis”, Marine Technology, Vol. 16, No. 4, pp. 353-364, 1979.

53. O’Kelly, M. E., “A Geographer’s Analysis of Hub-and-Spoke Networks”, Journal of Transport, Vol. 6, No. 3, pp. 171-186, 1998.
54. Campbell, J. F., “Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems”, European Journal of Operational Research, Vol. 72, pp. 387-405, 1994.
55. Klincewicz, J. G. “Heuristics for the P-hub Location Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 53, pp. 25-37, 1991.
56. Klincewicz, J. G. “Avoiding Local Optima in the P-hub Location Problem Using Tabu Search and GRASP”, Annals of Operational Research, Vol. 40, pp. 283-302, 1992.
57. Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., “On Tabu Search for the Location of Interacting Hub Facilities”, European Journal of Operational Research, Vol. 73, pp. 502-509, 1994.
58. O’Kelly, M. E., Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J., “Lower Bounds for the Hub Location Problem”, Management Science, Vol. 4, No. 4, pp. 713-721, 1995.
59. Campbell, J. F., “Hub Location and the P-Hub Median Problem”, Operational Research, Vol. 44, No. 6, pp. 923-935, 1996.
60. O’Kelly, M. E., Bryan, D., Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. “Hub Network Design with Single and Multiple Allocation: a Computational Study”, Location Science, Vol. 4, pp. 125-138, 1996.
61. Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., O’Kelly, M. E., “Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated P-Hub Median Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp. 582-593, 1996.
62. Sohn, J., Park, S. “Efficient Solution Procedure and Reduced Size Formulations for P-Hub Location Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 108, pp. 118-126, 1998.
63. O’Kelly, M. E., “Hub Location with Flow Economies of Scale”, Transportation Research B, Vol. 32, No. 8, pp. 605-616, 1998.
64. Klincewicz, J. G. “A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem”, Location Science, Vol. 4, No. 3, pp. 173-184, 1996.
65. Abdinnour-Helm, S. “A Hybrid Heuristic for the Uncapacitated Hub Location Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 106, pp. 489-499, 1998.

66. Aykin, T., “Lagrangian Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub-and-Spoke Network Design Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 79, pp. 501-523, 1994.
67. Aykin, T., “The Hub Location and Routing Problem”, European Journal of Operational Research, Vol. 83, pp. 200-219, 1995.
68. Aykin, T., “Networking Policies for the Hub-And-Spoke Systems with Application to the Air Transportation System”, Transportation Science, Vol. 29, pp. 201-221, 1995.
69. Jaillet, P., Song, G., Yu, G., “Airline Network Design and Hub Location Problem”, Location Science, Vol. 4, No. 3, pp. 195-212, 1996.
70. Oum, T. H., Zhang, A., Zhang, Y., “A Note on Optimal Airport Pricing in Hub-and-Spoke System”, Transportation Research B, Vol. 30, No. 1, pp. 11-18, 1996.
71. Pels, E., Nijkamp, P., Rietveld, P., “Substitution and Complementarity in Aviation Airports vs Airlines”, Transportation Research E, Vol. 33, No. 4, pp. 275-286, 1997.
72. 戴輝煌，「高雄港與香港轉運貨櫃競爭地位之研究」，國立臺灣海洋大學航運管理研究所，碩士論文，民國八十一年。
73. 戴輝煌，「西太平洋地區樞紐港埠選擇成本比較分析—ACS 模式之應用」，運輸學刊，第十四卷，第四期，1~28 頁，民國九十一年。
74. 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，民國八十七年。
75. Cohon, J. L., Multiobjective Programming and Planning, Academic Press, New York, 1978.
76. Caney, R. W., Reynolds, J. E., Reed’s Marine Distance Tables, Eighth Edition, Thomas Reed Publications, Printed in Great Britain, 1995.
77. 高雄港務局，高雄港港埠業務費費率表，三版，高雄港務局印，民國九十一年。
78. Containersation International Yearbook 2002, Containersation International, London, 2003.
79. Frankel, E. G., “New Generation Container Terminal Technology”, Port Technology Journal, Edition 15, Section 1, 2002.

80. 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，民國八十八年。
81. 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，民國九十二年。



附錄：運用模式推估亞太航運網路之可能轉變

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[45])。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，以大型貨櫃船—母船航行於軸心港間的主航線，而以小型貨櫃船—集貨船航行於軸心港與地區港埠間的集貨航線，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三、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。未來軸心港高雄港與釜山港是否為中國港口所取代？這是所有航商、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。

由於詳細的貨物載運量統計數據極少，最新的資料更難取得，因此，本研究欲以構建的路線決策模式分析目前亞太軸輻航運網路的變動，難採數值分析方式進行，惟透過前一節範例分析的結果，可以推測判斷網路之可能轉變。由 5.3.2 節第 1 項與圖 34 分析貨物載運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。換句話說，當地區貨量小且貨物經軸心港轉運時，當地港口為集貨港，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。由此可知，在亞太地區隨著中國大陸貨量的快速增加，愈來愈多的中國港埠將由集貨港提升為直靠港，當然同時亦有愈來愈多的遠洋直運航線服務這些直靠港與北美洲、歐洲之間。因此，由貨量增加使得決策傾向採直接運送之分析結果，可以預見未來的亞太航運網路中將有愈來愈多的直靠港與遠洋直運航線。

隨著中國貨量的快速增加，這些中國沿海港口有可能進一步提升為軸心港。要成為一個軸心港，除了本身有相當大的貨量外，其港口的地理位置要好才行，如同 5.3.2 節第 2 項與圖 35 的分析結果所顯示：港口區位為路線決策之重要影響因素之一。事實上，軸心港的區位應適於匯集與配送當地貨物。此外，一個軸心港的埠費率要低、作業效率要高，而且港口必定要有充裕的能量以容納轉運櫃，碼頭與航道水深必須足以提供遠洋大型貨櫃母船來靠泊。目前亞太地區軸輻系統主要以新加坡、香港、上海、深圳、釜山與高雄等六個港口為軸心港，其中高雄港與釜山港面臨中國港埠發展之挑戰，其軸心港位置有可能被大陸港口取代。在此，嘗試由貨物載運量與港口區位的角度來探討此二軸心港受大陸港埠發展影響之可能改變。

高雄港是臺灣第一大港，在 2005 年的貨櫃吞吐量 947 萬 TEU，為世界第六大貨櫃港。其中轉運櫃 482 萬 TEU，佔總量 51%，主要轉運中國華南地區、東南亞菲律賓、越南等國家運往北美洲之貨物，亦轉運東北亞日、韓等國運往歐洲之貨物。近來隨著中國經貿的快速成長，華南沿海港口的發展已對高雄港的軸心港地位產生威脅，特別是廈門港。廈門港是目前全球貨櫃吞吐量成長最快速的港口之一，在 1995 年其貨櫃吞吐量僅 30.97 萬 TEU，然而在 2005 年其貨量已快速成長達 334 萬 TEU，而且預測在 2010 年時將達 1,000 萬 TEU。

是否高雄港的軸心港地位會在不久的將來被廈門港所取代？由地理位置來看，高雄與廈門兩港相近，兩港間的距離僅 165 海浬，地理位置均佳，適合越太平洋航線、亞洲—歐洲航線之遠洋貨櫃母船直靠。進一步比較兩港的貨櫃量，目前廈門港的貨櫃量較高雄港的總吞吐量低 613 萬 TEU，亦較高雄港的進出口貨量低 131 萬 TEU，然而廈門港的成長率高於高雄港。當廈門港的吞吐量超過高雄港的進出口貨量時，廈門港有機會取代高雄港的軸心港地位，當廈門港的吞吐量進一步超過高雄港的吞吐量時，其取代高雄港的可能性將更再提高。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，否則按廈門港目前的成長趨勢與 2010 年貨櫃量達 1,000 萬 TEU 之預測值，廈門港的貨櫃量可能在 5~10 年內超越高雄港，到那時候，高雄港的軸心港地位有可能為廈門港取代而轉變為遠洋航線直靠港。

釜山港為南韓第一大港，在 2005 年的貨櫃吞吐量 1,184 萬 TEU，為世界第五大貨櫃港。其中轉運櫃高於總量的 40%，主要轉運中國華北、東北地區運往北美洲之貨物。近來隨中國經貿快速發展，愈來愈多的越太平洋航線直接靠泊中國華北、東北地區的港口，包括青島、天津與大連等。青島港是東北亞第二大貨櫃港，其在 2005 年貨櫃吞吐量 631 萬 TEU，較 2004 年成長了 22.8%，而天津港與大連港在 2005 年貨櫃吞吐量分別為 480 萬 TEU 與 265 萬 TEU，較 2004 年成長了 25.9% 與 19.9%。按目前中國強勁的經濟與三港積極建設之表現，此三港口貨櫃吞吐量必然持續成長，且預期青島、天津兩港貨櫃吞吐量在 2010 年將超越 1,000 萬 TEU。

未來釜山港之東北亞軸心港地位是否會被青島港所取代？由釜山港位於中國華北、東北至北美洲之必經航路上，其地理位置較青島港佳。此外，由貨櫃吞吐量來看，目前青島港的貨櫃吞吐量小於釜山港的貨櫃吞吐量，但已相當於釜山港當地的進出口貨量，且青島港的貨櫃成長率高於釜山港，未來青島港的貨量應會超過釜山港的吞吐量。惟青島港 2010 年的貨櫃預測量為 1,000 萬 TEU，仍較釜山港目前的吞吐量(1,184 萬 TEU)低，且釜山港的地理區位優於青島港，因此，預期短期內釜山港應能保持其軸心港地位。

綜而言之，隨著中國經濟的持續成長與貨量的快速增加，亞太航運網路中將有愈來愈多的遠洋航線直靠港，軸心港高雄與釜山將受中國廈門港與青島港之影響。其中，廈門港的貨櫃量成長快速而港口地理區位不比高雄港差，若高雄港無法保持其競爭優勢，其軸心港地位可能會被廈門港所取代，而釜山港的貨量較高、地理區位較中國華北與東北港口佳，短期內應能保有其軸心港地位。

作者簡歷



姓 名：謝幼屏 Hsieh, Yu-Ping

聯絡地址：台中縣 435 梧棲鎮中橫十路 2
號臺灣技術研究中心

E-mail：patty@mail.ihmt.gov.tw

學歷：

- 2006 國立交通大學運輸科技與管理學系博士班 博士
- 1993 國立交通大學土木工程研究所運輸工程與管理組 碩士
- 1991 國立交通大學運輸工程與管理學系 學士
- 1987 臺北市立第一女子高級中學 畢業

經歷：

- 2001 ~ 迄今 交通部運輸研究所 副研究員
- 1995 ~ 2001 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 助理研究員
- 1995 ~ 1995 臺灣省政府交通處公路局 工務員
- 1993 ~ 1995 中鼎工程股份有限公司 工程師

考試資格：

- 1994 全國性公務人員高等考試 交通工程科 考試及格

技師資格：

- 2000 交通工程技師 專門職業及技術人員檢覈及格