

國立交通大學

運輸科技與管理學系

博 士 論 文

海運軸輻路網模式規劃貨櫃船航線之研究

Analyses of Marine Hub-and-Spoke Network Models

for Routing Containerships

研 究 生：王賢崙

指 導 教 授：謝尚行 博士

中 華 民 國 九 十 五 年 七 月

海運軸輻路網模式規劃貨櫃船航線之研究
Analyses of Marine Hub-and-Spoke Network Models
for Routing Containerships

研究生：王賢崙

Student : Hsien-Lun Wong

指導教授：謝尚行

Advisor : Shang-Hsing Hsieh

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

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

海運軸輻路網模式規劃貨櫃船航線之研究

研究生：王賢崙

指導教授：謝尚行 博士

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘 要

本篇論文應用軸輻路網模式與架構，描述海運貨櫃船隊之航線規劃與型態，包括對軸心港位置問題、集貨港指派問題，及最適船型問題進行分析。對此議題，本文分析的角度，從軸輻路網介紹開始，如何適用於海運系統、最適船型分析、軸心港之條件與選擇、軸輻路網式航線設計、折扣係數模式、演算法應用，到實例說明結束。研究結果顯示，海運軸輻路網模式，能解決航線規劃問題，且能提供航商在軸輻路網航線設計之參考；其次，最適船型與船速模式，釐清船速對問題的影響性，並能提供航商在船舶航行之參考。本研究發現：(1)非完全路網、單一指派，及非嚴格路網是貨櫃船航線的特性，本文模式能納入這些特性，合適地表現出海運系統的全貌。(2)軸心港位置模式能描述航商對軸心港的選擇行為，集貨港指派模式反應出海運接駁的轉運特色。(3)軸輻路網航線規劃的步驟，是針對海運分析上必要而適切的，模式能決策出整體海運系統之最佳化航線。(4)本文另分析貨櫃船之最適船型與船速，以追求利潤最大化為目標，符合經濟學原理，較以往成本最小化模式，更能適切描述航商的決策行為。

Analyses of Marine Hub-and-Spoke Network Models for Routing Containerships

Student : Hsien-Lun Wong

Advisor : Dr. Shang-Hsing Hsieh

Department of Transportation Technology and Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This dissertation designs, develops, and implements two satisfactory models to approach the problems, including the hub location, feeder port allocation, and optimal containership size problems. First, a single assignment nonstrict hub location model (SANHL), with heuristic scheme based on the shortest distance rule, is formulated to solve the former two problems. An experimental case based on the Trans-Pacific Routes is presented to illustrate the SANHL model's formulation and solution methods. The results indicate that the SANHL model is a concave function, exploiting the economies of scale for total profit with respect to the number of hubs. The spoke allocation may change an optimal choice of hub locations. Second, a nonlinear optimal ship size and speed model (NOS) seeking maximal profit is used to solve the containership size problem. An example of the Trans-Pacific Routes is employed to test the NOS model formulation and sensitivity analysis. The results indicate that the NOS model exploits the diseconomies of scale for total profit to the ship speed. This would provide shipowners with a beneficial reference for planning the size and the speed of their containerships. This dissertation contributes to an optimal marine network planning, hub choice behavior, feeder transshipment structure, and economic containership speed. Moreover, it provides new tools for decision makers, port operators and shipowners concerned with hub-and-spoke routing patterns and containership size development.

誌 謝

我要感謝 謝尚行教授 -- 指導並協助完成博士學位。

我要感謝博士口試委員 陳光華教授、黃承傳教授、周和平教授、陳武正教授 -- 提供嚴謹的論文修正建議。

我要感謝 韓復華教授 -- 鼓勵報考博士班求學。

我要感謝 張新立教授 -- 開啟博士學習之道。

我要感謝 任維廉教授、吳水威教授、王晉元教授 -- 培養研究基礎。

我要感謝 卓訓榮教授、許巧鶯教授 -- 敦促更上層樓。

我要感謝 -- 實驗室學弟、學妹們一起討論的快樂時光。

謝謝至誠、廷俊、重佑的協助。

我要感謝 -- 新竹靈糧堂活水小組、林榮華牧師給予的安慰與代禱。

我要感謝 -- 明新科技大學提供在職進修的機會。

我要再次感謝恩師 謝尚行教授
對於您的成全與付出 謹獻上我永遠的衷心感謝。



王賢崙 謹誌
新竹交大 2006 夏

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論	
1.1 研究動機與背景.....	P1
1.2 問題特性.....	P3
1.2.1 軸輻路網的型態與問題.....	P3
1.2.2 貨櫃船隊定期航線的特性與問題.....	P3
1.2.3 最適貨櫃船型(船舶大小)問題.....	P6
1.3 研究目的.....	P6
1.4 研究範圍與限制.....	P7
1.5 研究方法.....	P7
1.6 研究內容與流程.....	P10
第二章 文獻回顧	
2.1 軸輻路網模式.....	P12
2.1.1 基本模式與類型.....	P15
2.1.3 折扣係數.....	P16
2.1.4 海運軸輻路網模式.....	P17
2.2 船舶航線規劃模式.....	P17
2.3 最適貨櫃船型模式.....	P19
2.4 小結.....	P21
第三章 最適貨櫃船型與船速模式	
3.1 最適船型問題.....	P23
3.2 數學模式之構建.....	P24
3.2.1 模式基本概念.....	P24
3.2.2 模式基本假設.....	P25
3.2.3 變數與參數說明.....	P25
3.2.4 數學模式.....	P26
3.3 模式求解說明.....	P27
3.4 運送成本與船型和船速之迴歸式分析.....	P28
3.4.1 資金成本與船型和船速.....	P29
3.4.2 燃油成本與船型和船速.....	P31
3.4.3 營運成本與船型和船速.....	P32

3.4.4 碇泊費用與船型.....	P34
3.5 小結.....	P35
第四章 最適船型與船速模式之應用與測試	
4.1 利潤最大化模式求解.....	P36
4.2 投資報酬率模式求解.....	P40
4.3 敏感度分析.....	P44
4.3.1 承載率變動分析.....	P44
4.3.2 碼頭工時變動分析.....	P45
4.3.3 港口變動分析.....	P46
4.3.4 燃油價格變動分析.....	P48
4.4 小結.....	P49
第五章 單一指派非嚴格型海運軸輻路網模式	
5.1 海運軸輻路網之問題背景.....	P50
5.2 軸輻路網航線規劃之問題特性分析.....	P51
5.3 模式基本假設.....	P52
5.4 數學模式之構建.....	P53
5.4.1 軸心港位置模式.....	P53
5.4.2 集貨港指派模式.....	P57
5.5 折扣係數模式.....	P66
5.6 模式求解步驟.....	P67
5.7 小結.....	P68
第六章 單一指派非嚴格海運軸輻路網模式之應用與測試	
6.1 實例背景說明.....	P70
6.2 軸心港位置模式求解.....	P71
6.3 集貨港指派模式求解.....	P75
6.4 敏感度分析.....	P80
6.4.1 港口裝卸費與裝卸率變動分析.....	P80
6.4.2 承載率變動分析.....	P81
6.4.3 燃油價格變動分析.....	P82
6.5 折扣係數模式求解.....	P83
6.6 小結.....	P86
第七章 結論與建議	
7.1 研究結論.....	P88
7.2 未來研究方向.....	P89
7.3 研究貢獻.....	P89
參考文獻.....	P91
附錄	
簡歷	

圖目錄

圖 1-1 軸輻路網式海運定期貨櫃船隊之航線型態.....	P4
圖 1-2 標準型之航空軸輻路網航線型態.....	P5
圖 1-3 航線規劃問題與貨櫃船型問題關連圖.....	P6
圖 1-4 研究流程圖.....	P11
圖 2-1 貨櫃船型與單位運輸成本之關係.....	P20
圖 3-1 資金成本與船型關係圖.....	P30
圖 3-2 資金成本與船速關係圖.....	P30
圖 3-3 燃油成本與船型關係圖.....	P31
圖 3-4 燃油成本與船速關係圖.....	P32
圖 3-5 營運成本與船型關係圖.....	P33
圖 3-6 營運成本與船速關係圖.....	P34
圖 4-1 船型固定下之最大利潤值與對應船速之變化圖.....	P38
圖 4-2 船速固定下之最大利潤值與對應船型之變化圖.....	P39
圖 4-3 包含船型與船速兩個變數之利潤值函數圖.....	P39
圖 4-4 利潤函數相對於船型與船速之等高線圖.....	P40
圖 4-5 船型固定下之最高投資報酬率與對應船速之變化圖.....	P41
圖 4-6 船型固定下之最高投資報酬率與對應船型之變化圖.....	P43
圖 4-7 包含船型與船速變數之投資報酬率函數圖.....	P43
圖 4-8 最高投資報酬率函數相對於船型與船速之等高線圖.....	P44
圖 4-9 不同港口距離與最適船型和船速之變化圖.....	P47
圖 4-10 不同燃油價格與最適船型和船速.....	P48
圖 5-1 海運軸輻路網式貨櫃船定期航線示意圖.....	P53
圖 5-2 海運軸輻路網模式二階段求解流程圖.....	P68
圖 6-1 包含軸心港位置模式與集貨港模式之總目標值變化圖.....	P79
圖 6-2 越太平洋航線之最佳軸輻路網式貨櫃船定期航線圖.....	P79

表目錄

表 2-1 軸心港位置問題與貨櫃船定線問題之基本差異.....	P22
表 3-1 主要成本與船型和船速迴歸式之彈性值.....	P34
表 4-1 高雄-洛杉磯航線基本資料.....	P36
表 4-2 船型固定下之最大利潤與其對應船速.....	P37
表 4-3 船速固定下之最大利潤與其對應船型.....	P38
表 4-4 船型固定下的最高投資報酬率與其對應之船速.....	P41
表 4-5 船速固定下的最高投資報酬率與其對應之船型.....	P42
表 4-6 高雄-東京承載率之敏感度分析.....	P45
表 4-7 高雄-洛杉磯每日碼頭工時之敏感度分析.....	P45
表 4-8 選定港口與高雄港的距離.....	P46
表 4-9 選定港口的貨櫃裝卸效率與裝卸費.....	P46
表 4-10 各港口之間的每櫃運價矩陣.....	P47
表 4-11 港口距離之敏感度分析.....	P47
表 4-12 高雄-東京燃油價格之敏感度分析.....	P48
表 5-1 支線在迴圈、依序往返，與直達航線之貨物承載量.....	P58
表 5-2 不同集貨港數目下支線路網組合型態.....	P59
表 6-1 越太平洋航線主要貨櫃港在世界排名.....	P71
表 6-2 設置 2 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P72
表 6-3 設置 3 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P72
表 6-4 設置 4 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P72
表 6-5 設置 5 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P73
表 6-6 設置 6 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P73
表 6-7 設置 7 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P73
表 6-8 設置 8 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P74
表 6-9 設置 9 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序.....	P74
表 6-10 軸心港位置模式求解各組最大目標值的排序.....	P74
表 6-11 設置 4 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序.....	P75
表 6-12 設置 5 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序.....	P76
表 6-13 設置 6 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序.....	P76
表 6-14 設置 7 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序.....	P76
表 6-15 設置 8 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序.....	P77
表 6-16 集貨港指派模式之各組最大目標值.....	P77
表 6-17 實例之單一指派非嚴格海運軸輻路網模式各組最大目標值.....	P77
表 6-18 上海港裝卸費及碇泊費變動之敏感度分析.....	P81
表 6-19 承載率變動對軸心港位置模式之敏感度分析.....	P82

表 6-20 燃油價格變動對軸心港位置模式之敏感度分析.....	P83
表 6-21 主要測試港口之相關資料.....	P84
表 6-22 不同貨櫃船型之船舶規格表.....	P84
表 6-23 香港與高雄港間之折扣係數值.....	P84
表 6-24 香港與洛杉磯兩港間之折扣係數值.....	P85
表 6-25 香港-高雄港承載率變化之折扣係數值.....	P85



第一章 緒論

本篇論文主要應用軸輻路網模式與架構，描述海運貨櫃船隊之航線規劃與型態，包括對軸心港位置問題、集貨港指派問題，及最適船型問題進行分析。對此議題，本文分析的角度，從軸輻路網介紹開始，如何適用於海運系統、最適化船型決策與預測、軸心港條件與選擇、軸輻路網式航線設計、折扣係數模式、演算法發展，到實例說明結束。希望藉此分析，本研究能解決定期航線的規劃問題及最適船型問題，並能提供航商在規劃軸輻路網航線與決策船型的參考價值。本章內容主要有：1.1 節研究動機與背景，說明整個研究緣由與重要性；1.2 節研究問題，詳述問題的特性、內涵與假設；1.3 節研究目的，說明研究欲達到的目標；1.4 節研究範圍與限制，界定分析的範圍；1.5 節研究方法，交待對問題的研究途徑，分析的方式與理論；1.6 節研究內容與流程，說明各章主題與問題關連性、文獻回顧、模式與實例、及進程序。

1.1 研究動機與背景

軸輻路網式的運輸是指，貨物從出發點到目的地的運送，不直接抵達，而通常會經由二個（或以上）的轉運中心，稱之軸心港（hub），以完成運輸作業。軸心港能把許多鄰近港的貨物集中，經由大型運具在軸心港上運送，產生規模經濟，以降低單位運送成本。因此，許多業者普遍應用軸輻路網於系統規劃上，例如，航空運輸、通信網路、郵政系統，和貨櫃運輸業。有效應用軸輻路網的主要關鍵就是，尋求出一組最佳的軸心港的「數目」和「位置」及非軸心港到軸心港的「指派」，以使系統總運輸成本最低，亦即軸心港位置問題（hub location problem）與集貨港指派問題（feeder port allocation problem）的結合。

在海洋運輸上，自貨櫃化運輸興起後，貨櫃船運送漸漸取代雜貨船，成為定期船運的主流。定期船指運送貨櫃或雜貨之船舶，依照公開的航線與航班，定時往返航行於固定的港口之間。貨櫃運輸起源於美國泛大西洋輪船公司（Pan Atlantic Steamship Co）改裝雜貨船，使其可裝載名為「Conex」的小型貨櫃，航行於美國紐約、休士頓與波多黎哥之間。1966年美國海陸貨櫃運輸公司（Sea-Land Service Inc）從美國休士頓出發，橫渡大西洋至歐洲之荷蘭鹿特丹與英國之普萊茅斯港，開始國際港口之貨櫃航線。1970年代的貨櫃運輸，出現跨洲際間之長程航線，並且開闢接駁航線及拓展陸橋運送，此時以2,000 TEU左右的貨櫃船型為主。1988年美國總統輪船公司（American President Lines）首先訂購4,340 TEU的'C'級超巴拿馬極限型船舶（post-Panamax），突破巴拿馬運河的限制，真正完成全球市場的定期貨櫃航線。

由於規模經濟性，大型貨櫃船能降低每單位運輸成本，近年來航商逐漸訂購大型貨櫃船以汰舊換新，根據國際化貨櫃期刊（Containerisation International; CI, 2005），去年

(2005) 全球在巴拿馬極限級船舶供給量有 2.5 million TEU，占全部貨櫃船承載量的 30%，較 2000 年的供給量增加 17%。近年在港埠作業效率、電腦科技應用，及造船技術方面的改進，更促使貨櫃船大型化的發展 (謝尚行、王賢崙，民 89)，最近的最適船型研究，大型貨櫃船的發展極可能出現 10,000 TEU 以上 (謝尚行、王賢崙，民 95)。貨櫃船大型化能帶給航商在節省運輸成本上的好處；然而，貨櫃船大型化亦導致航商在靠港選擇與航線規劃缺乏彈性。從港口的角度而言，現今並非所有的港口都有足夠的水深及腹地、先進的港埠設備，供大型貨櫃船停靠與貨櫃裝卸。其次，以市場條件來看，亦非所有港口的貨櫃流量，皆足以讓大型貨櫃船產生規模經濟性。為克服這些問題，對長程航線的定期貨櫃船隊而言，航商勢必考慮改變沿途停靠所有港口的傳統單一航線的航線規劃，而改停少數的大型港口，以發揮大型貨櫃船的效率。因此，貨櫃船的定期航線將發展出以大型港口為轉運中心的主線，並結合支線的軸輻路網式型態。

所謂海運主線與支線的路網型態，就是在航區的相鄰港埠群當中，母船 (大型貨櫃船) 僅選擇其中少數合適的大港作為停靠港，稱作軸心港 (hub ports)，而母船航行於航區軸心港之間，即稱為主線 (interhub service)。對軸心港鄰近的小港而言，母船不停靠，故由子船 (小型集貨船) 進行集貨工作，將貨櫃由小港運至軸心港，這些小港就稱為集貨港 (feeder ports)，而子船航行於集貨港與軸心港之間，即稱支線 (feeder service)。這種主線與支線相互配合的運輸型態，將貨櫃集中於軸心港上，以滿足大型貨櫃船的裝載需求，並藉此可降低單位貨櫃的運輸成本。例如，亞洲-北美遠洋貨櫃航線，母船駛在主線大港口 (例如，高雄、上海、釜山)，子船則穿梭在支線，接駁運送鄰近小港口 (例如，馬尼拉、橫濱)；而不同地區的遠洋航線 (例如，亞洲-北美線、亞洲-歐洲線) 也會在一個大港口 (例如，新加坡)，交接不同地區的貨櫃。

因此，未來全球遠洋貨櫃定期航線的型態，將由傳統的定港往返、鐘擺，或多航段迴圈式的航行方式，朝向多層次路網的結構發展 (Robinson, 1998)。而港埠除了本身作業效率，尚須具備足夠且穩定貨源、完備聯外系統、優越地理條件，及競爭力指標等因素，方能吸引大型船舶的灣靠，成為區域的貨櫃轉運中心。此種包括以軸心港為中心，結合主線與支線的海運貨櫃船隊運送模式，在航空運輸方面也有類似的發展，從 1978 年美國解除航空管制後，便逐漸形成以空運中心為「軸」，其他航空站為「輻」之航線配置，稱為軸輻路網；將低度使用之航線藉由空運中心轉運的方式，使流量集中在主要航線上，達到降低營運成本的效果。

綜合上述，定期貨櫃運輸的航線型態與船舶的發展是息息相關，貨櫃船大型化是遠洋航線主流，而船舶大型化的經濟效益必仰賴有效率的航線規劃與港口作業配合。因此，在海洋運輸上，朝向尋求區域集貨中心的軸心港，以滿足大型貨櫃船的航行與作業需求，及結合後勤接駁的路網式航線，以擴大貨櫃船隊的運送範圍，已是目前航線經營的主要議題與發展趨勢。然而學術上對軸輻路網航線的相關研究，目前仍集中在航空運輸 (參見 O'Kelly, 1987; Klinecicz, 1992; Campbell, 1994, 1996; Skorin-Kapov et al. 1994, 1996; Aykin, 1990, 1995; Ernst and Krishnamoorthy, 1996; O'Kelly and Lao, 1991; Klinecicz, 1996; Krishnamoorthy et al. 1998, 2004; Kara and Tansel, 2000, 2003)，論及貨

櫃船運輸的不多（謝尚行、張斐如，民 90; Robinson, 1998; Hsu and Hsieh, 2005 ; Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006）。基於此點，本文的主要研究動機為：(1) 以軸輻路網為架構，探討海運貨櫃船隊之運輸特性，並能發展貨櫃船隊航線的規劃方法，作為提供航商在選擇軸心港與航線分析之工具。(2) 此外，有鑑於航線型態與船型的關連性，本文亦先將分析船型發展問題，以瞭解未來船型發展關鍵，提供作為航商在不同航線上的船型規劃決策之參考。

1.2 問題特性

本文所探討的問題，主要包括：軸輻路網式航線設計與航線最適貨櫃船型兩大主題。此兩種問題，雖屬於不同的規劃層次，但彼此之間卻有密切的相關性。本節分三部分，1.2.1 節說明軸輻路網的型態與問題；1.2.2 節說明定期貨櫃船隊航線的特性；1.2.3 節說明最適貨櫃船型的決策問題。

1.2.1 軸輻路網的型態與問題

軸輻路網式的運輸架構由主軸系統和支線系統所組成，主軸系統指軸心港之間的連結方式，而依連結型態的不同，主軸系統分完全路網、非完全路網。完全路網指各軸心港之間是完全連結的，亦即所有軸心港口都可直航；非完全路網則指軸心港之間是不完全連結的，軸心港之間可能是一對一的鏈狀連結或部份一對多的連結。支線系統指非軸心港之間，或非軸心港與軸心港的連結方式，可分單一指派、多重指派，及嚴格路網、非嚴格路網等型態。單一指派指非軸心港只連結到一個軸心港；多重指派則不限制非軸心港連結多少個軸心港。嚴格路網是非軸心港之間沒有連結，亦即非軸心港與軸心港之間是直航的；非嚴格路網是非軸心港之間存有互動，表示某一非軸心港可能先與另一個非軸心港連結，再接到下一個軸心港。

軸輻路網依系統的不同特性，例如，港口規模、運具特性，港口指派、及運送貨物屬性，而表現出許多複雜的路網型態。軸輻路網系統的核心問題，在於尋找出一組最佳的軸心港的「數目」和「位置」及非軸心港到軸心港的「指派」的組合，以完成最適的航線設計，目的是使軸輻路網的總運輸成本最低，亦即軸心港位置問題。過去文獻在軸輻路網的探討，O'Kelly (1987) 以單一指派模式，對美國境內航空運輸系統，求解軸心港位置問題，其模式限制每個非軸心港的節點，只能指派給一個軸心港並與其相接，而且各軸心港間是相互連接，為一完全路網，此為標準式軸輻路網型，此點假設成為所有探討航空軸輻路網的研究基礎。

1.2.2 貨櫃船隊定期航線的特性與問題

由於運送貨物和運具的屬性，貨櫃船定期航線在軸輻路網型態上的獨特性是：非完全路網、單一指派，及非嚴格路網型，如圖 (1-1) 所示，本文歸納航線的特性重點，分述如下：

1. 完全路網型態下，任何兩個軸心站都可直接往來，因此停靠的港口數少，能縮短運送距離，節省時間，適合人員運送的航空運輸；而貨櫃船隊定期航線是依港口位置的地理方向，一港連結一港方式，依序 (sequence) 往返串聯而形成的 (Ronen, 1993)，因此停靠的港口較多、時間較長，較適合貨物運輸，主要航線有定港往復式、鐘擺式、多航段迴圈，及交叉式等型態，是非完全路網式的航行路徑。
2. 多重指派下，集貨港可能同時連結到多個軸心港，表示貨物運送不必經由軸心港間的運送，此種結構表現時效性，較適合以快遞運送的航空郵件系統；而貨櫃船隊航線在支線上，集貨港較常連結到最近的一個軸心港，而較少出現多個軸心港的情形，如此才能反應出海運軸心港為區域轉運中心、負擔鄰近集貨港的貨物出入口的角色。因此，定期貨櫃船隊在支線的航行，是以單一指派為基礎 (謝尚行、張斐如，民 90; Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006)。
3. 嚴格路網下，集貨港與集貨港互不連結，無法表現接駁的轉運特性，此型態適合時效性的運送模式；而貨櫃船航行在海上，從集貨港至軸心港的途徑，常必須先行徑到集貨港，再接到下一個軸心港，不僅是直接與軸心港相連。此項海運的接駁轉運特色，使單一支線可能擁有多個集貨港，以致航線可能以迴圈、依序往返或更複雜的方式呈現 (Chadwin et al,1990)。因此，定期貨櫃船在支線航線是非嚴格路網的型態 (Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006)。

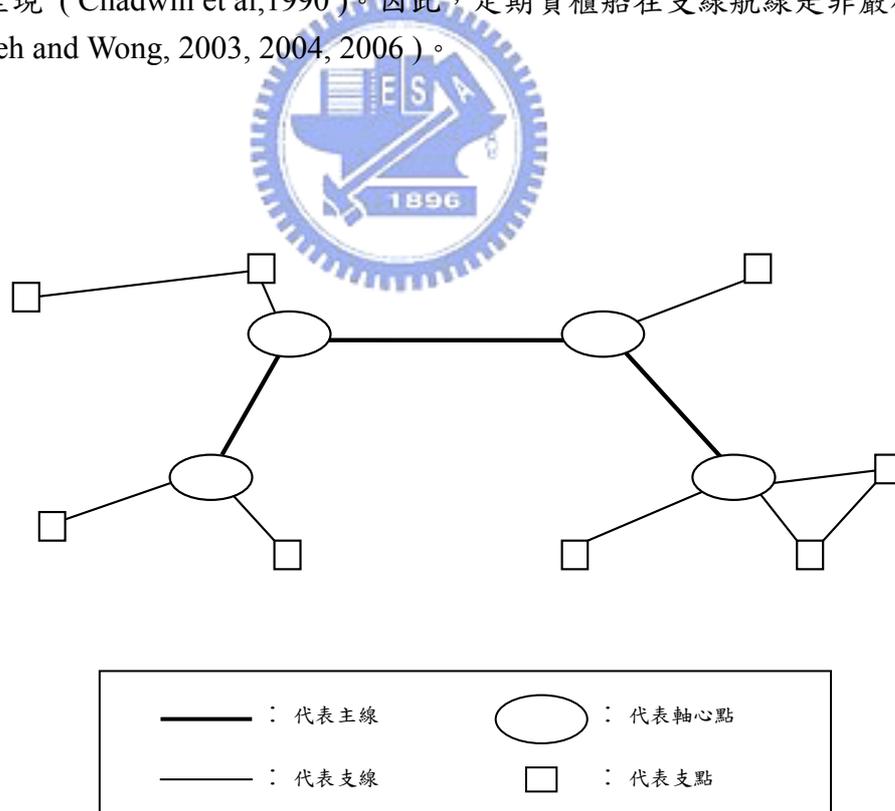


圖 1-1 軸輻路網式海運定期貨櫃船隊之航線型態

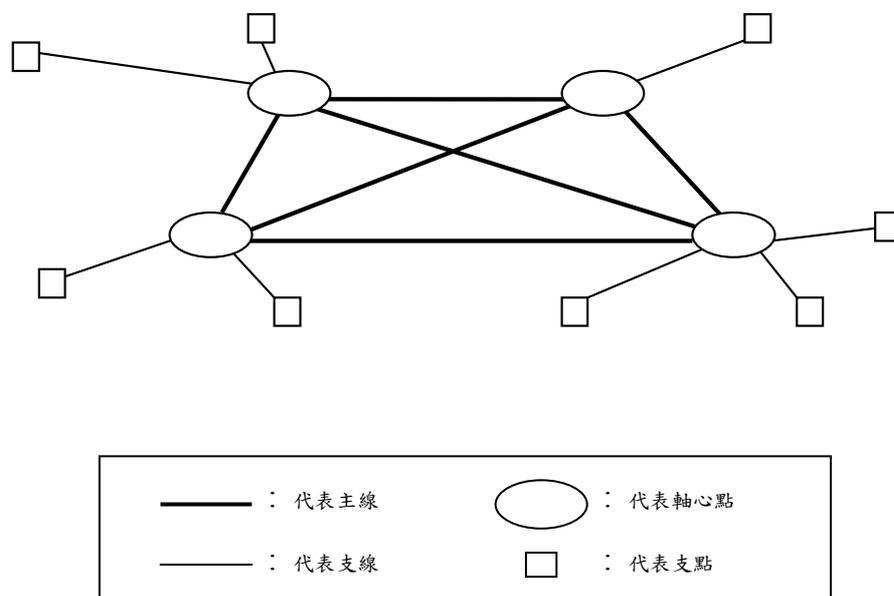


圖 1-2 標準型之航空軸輻路網航線型態

比較圖 (1-1) 和圖 (1-2) 就能清楚地看出兩者在結構上不同，對軸輻路網問題而言，圖形差異的主要意涵是：(1) 主軸線上，航空是任兩軸心港皆可相連，不必分析軸心港的互動問題；而貨櫃船因地理、運具的因素，航行型態受限於港口位置，因此在軸輻路網設計上，不僅要考慮到軸心港的數量，且須分析軸心港往來時產生的港埠成本。(2) 在支線上，航空是集貨港之間沒往來，不必分析其航行路徑問題；而貨櫃船載貨在集貨港間穿梭、接駁運送，航行路徑較航空的複雜多，因此如何在模式內保留此特性，也是海運的分析重點。(3) 由於時效性的需求，航空軸輻路網在起、迄點的指派上，模式可採線性化處理問題；但此無法描述海運在主軸線與支線的轉運全貌，二次指派是較合適的處理方式。

軸輻路網問題主要在解決軸心港位置問題，而不同的路網系統，其特性也不同，以致無法引用單一套相同的模式，因此，為求能表現出各系統的特性，須發展一套適合的機制 (Bryan and O'Kelly, 1999)。本文以軸輻路網的運輸模式，描述定期貨櫃船航線的問題，重點就是要能符合海運系統的假設 ---非完全路網、單一指派，及非嚴格路網---，並決策出兩個相關子題：如何選擇軸心港的位置 (location)？如何規劃集貨港之指派 (allocation)？簡而言之，貨櫃船隊定期航線的規劃問題，就是軸輻路網下的軸心港位置問題，要決策航線上：(1) 在那裡設置軸心港？(2) 設置多少個軸心港？(3) 集貨港與哪個軸心港連結？(4) 集貨港與軸心港連結的路徑？(5) 貨櫃船數量與航次如何安排？以完成最佳港口與航行路徑的規劃，在市場需求滿足下，達到航線運輸的利潤最大目標。此外，更進一步釐清：(6) 軸心港位置或港口指派的不同，是否影響到航線利潤的變化？(7) 傳統的航線分析模式，是否適用於軸輻路網式航線的規劃？

1.2.3 最適貨櫃船型(船舶大小)問題

最適貨櫃船型決策與貨櫃船航線的設計是不同的規劃，航線的設計是航商船期排定的依據，航線決定後則短期不易變動，而最適貨櫃船型問題，本質上是航商訂造船舶的規劃，作為航線上的調派，本文要分析的最適貨櫃船型問題，重點是分析船速的規模經濟性及船型發展趨勢。兩者對航商而言，問題結構上皆是分析運輸供給，目的均在對內部資源作最經濟的安排，在策略具有相輔性，如圖 1-3 所示。

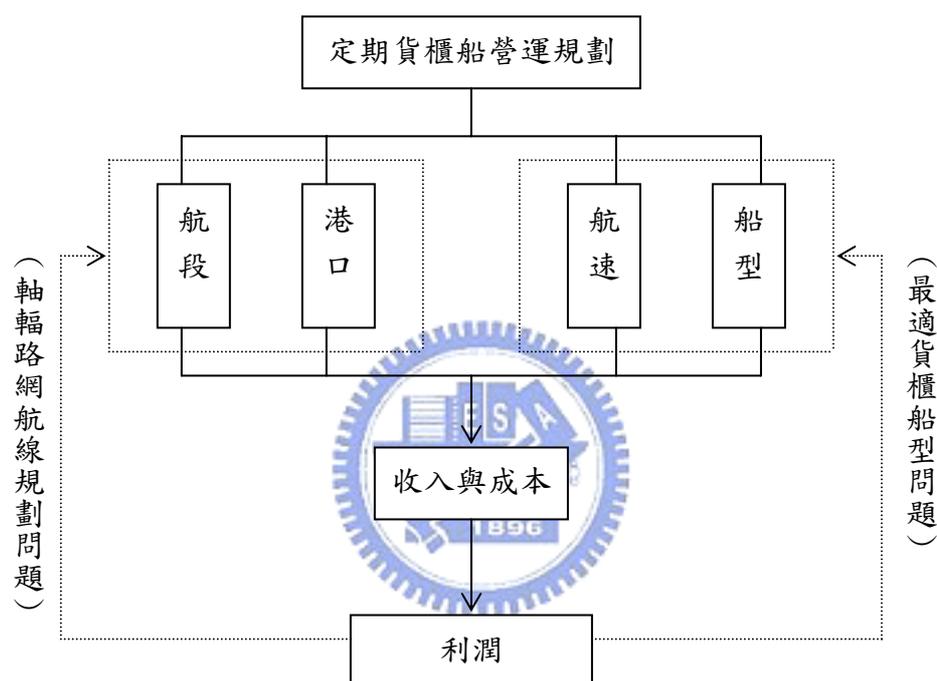


圖 1-3 航線規劃問題與貨櫃船型問題關連圖

1.3 研究目的

本篇論文對研究問題的分析，主要目的有如下幾點：

1. 將軸輻路網的分析模式導入海運系統，藉此對國際定期貨櫃船航線做完善且具體的描述，並分析航商在軸心港選擇與航線規劃行為。
2. 回顧文獻對軸輻路網模式的探討，以瞭解軸輻路網與航線規劃問題的不同特性，並釐清軸輻路網在海運上的研究主題。
3. 分析海運軸輻路網問題，藉此建構合適的模式，在最大利潤化目標下，以求解軸心港位置問題和集貨港指派問題。
4. 分析最適貨櫃船型問題，藉此建立數學規劃模式，在最大利潤化目標下，決策航線上最適貨櫃船型與船速。

5. 以越太平洋航線（遠東--北美西岸）為實例，測試模式與說明結果，並進行敏感度分析，檢驗模式穩定度與實用性，作為航商在航線和船型規劃之有效參考。

1.4 研究範圍與限制

為明確對研究問題的分析，本文的研究範圍界定如下：

1. 航線規劃問題和船型問題是，衡量內部資源的最佳分配，以達到運輸利潤最大化的企業目標，本文重點是分析個體航商運輸供給的問題，並不是探討市場需求量的變化預測。因此，本文對研究問題所提出之假設、模式建構、資料分析，到結論與建議，都是在市場需求量已知而且滿足的環境下，此作法也是一般分析利潤最大化問題的基礎。
2. 軸輻路網的型態以較符合海運貨櫃船隊航行的特性為前提，而其他相關的軸輻路網型態，例如完全路網、多重指派，及嚴格路網等，不在本文探討的問題範圍內。主軸航線上假設貨櫃母船是以軸心港的地理位置，依序往返的定港航行，不考慮鐘擺式、多航段迴圈，或交叉式的運送方式。

1.5 研究方法

本篇論文第一部份的軸輻路網航線規劃問題，是屬於軸心港位置問題，主要是決策航線上軸心港的數量、軸心港的位置，及集貨港的指派和連結型態，並達成軸輻路網總利潤最大化的目標。近年文獻中 O'Kelly (1987) 首先以完全路網、單一指派的模式，分析航空旅客人數及成本資料，求解美國境內航空之軸輻路網航線問題，本質上此模式是二次指派的整數規劃式，此指派模式說明如下：

$$\text{Min} \quad Z = \sum_i \sum_j W_{ij} (\sum_k X_{ik} C_{ik} + \sum_m X_{jm} C_{jm} + \alpha \sum_k \sum_m X_{ik} X_{jm} C_{km}) \quad (1-1)$$

Subject to

$$(n-p+1)X_{jj} - \sum_i X_{ij} \geq 0, \forall j \quad (1-2)$$

$$\sum_j X_{ij} = 1, \forall i \quad (1-3)$$

$$\sum_j X_{jj} = p \quad (1-4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \quad (1-5)$$

目標式 (1-1) 表示軸輻路網運輸總成本，前兩項是集貨港與軸心港往來的運送成本，第三項是軸心港航段之運送成本，其中 α 值為折扣係數，表示軸輻路網之規模經濟。限制式 (1-2) 表示對軸心港而言，至多有 $(n-p+1)$ 集貨港被指派到軸心港（包括該軸心港本身）。限制式 (1-2) 亦限制集貨港不能彼此相連接，而只能與軸心港相連，亦即嚴格路網。限制式 (1-3) 表示每個集貨港只能連接一個軸心港，亦即單一指派。限制式 (1-4)

表示模式限制軸心港數量共 p 個，而且軸心港航段之運送成本以 C_{km} 表示，亦即軸心港之間是完全路網。限制式 (1-5) 表示當 $X_{ij}=1$ 時，代表節點 i 與節點 j 相連，當 $X_{ij}=0$ 時，則不連接，此即為 0-1 整數規劃問題。就集貨港指派而言，O'Kelly (1987) 模式的求解問題與海運貨櫃船航線結構類似。

Campbell (1996) 以完全路網、多重指派的模式，分析及求解美國境內航空軸輻路網問題，如式 (1-6)~(1-11)，模式說明如下：

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{i,j,k,m \in S} W_{ij} (C_{ij} + \alpha C_{km} + C_{mj}) X_{ijkm} \quad (1-6)$$

Subject to

$$\sum_k Y_{kk} = p \quad (1-7)$$

$$\sum_k Y_{ik} = 1, \quad \forall i \quad (1-8)$$

$$Y_{ik} - Y_{kk} \leq 0, \quad \forall i \neq k \quad (1-9)$$

$$\sum_{n \in S_{ijk}} X_{ijkm} - Y_{ik} \leq 0, \quad \forall j > i; k \quad (1-10)$$

$$\sum_{k \in S_{ijm}} X_{ijkm} - Y_{jm} \leq 0, \quad \forall j > i; m \quad (1-11)$$

目標式 (1-6) 表示軸輻路網運輸總成本。限制式 (1-7) 表示軸心港數量共 p 個。限制式 (1-8) 表示每個集貨港只能連接一個軸心港。限制式 (1-9) 確定集貨港指派給軸心港。限制式 (1-10) 與 (1-11) 表示貨物運送不會經由軸心港航段，除非集貨港 i 指派給軸心港 k 且集貨港 j 指派給軸心港 m 。雖然是多重指派，但 Campbell (1996) 把二次指派問題轉換成以線性規劃方式求解，如式 (1-8)，其目的要簡化求解複雜度。

海運軸輻路網的軸心港常超過兩個，此點與航空人員運輸有較大差異。為求能描述此點特性，謝尚行與張斐如 (民 90) 以 O'Kelly (1987) 和 Campbell (1996) 的航空模式為基礎，建立非完全路網之海運軸輻路網模式，分析港口貨櫃流量和成本資料，求解軸心港位置問題，此模式說明如下(1-12~1-20)：

$$\text{Min} \quad Z = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} (C_{ik} + \alpha \sum_{r=k}^{m-1} C_{r,r+1} + C_{mj}) X_{ijkm} \quad (1-12)$$

Subject to

$$\sum_m X_{kjk m} = 1, \quad \forall j \in J; k, m \in H \quad (1-13)$$

$$\sum_k X_{imk m} = 1, \quad \forall i \in I; k, m \in H \quad (1-14)$$

$$\sum_k Y_k = p \quad (1-15)$$

$$\sum_m X_{ijkm} - Y_k \leq 0, \quad \forall i, j, k \quad (1-16)$$

$$\sum_k X_{ijkm} - Y_m \leq 0, \quad \forall i, j, m \quad (1-17)$$

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = 1, \quad \forall i \in I; j \in J \quad (1-18)$$

$$X_{ijkm} = 0, \quad \text{if } i \in J, j \in I, \text{ and } k, m \in H \quad (1-19)$$

$$X_{ijkm} \in \{0, 1\} \quad (1-20)$$

目標式 (1-12) 表示海運軸輻路網運輸總成本，第一項與第三項是集貨港與軸心港往來的運送成本，第二項是軸心港航段之運送成本，此成本函數採依序累加式而成，亦即反應不完全路網，其中 α 值表示軸輻路網之規模經濟性。限制式(1-13) 表示當出發港軸心港，對目的港 j 而言，在 k 與 j 之間，只能指派一個軸心港 m 與其相連。限制式 (1-14) 表示當目的港是軸心港 m ，對出發港 i 而言，只能指派一個軸心港 k 與其相連。限制式 (1-15) 表示軸心港個數為 p 個。限制式 (1-16) 與 (1-17) 表示由 i 到 j 的貨櫃不經過 k 與 m ，除非 k 與 m 都是軸心港。限制式 (1-18) 限制每個集貨港只能連接一個軸心港，亦即單一指派。限制式(1-19) 說明海運港口的方向性，依序是 $i \rightarrow k \rightarrow m \rightarrow j$ 。限制式 (1-20) 表示模式為 0-1 指派問題，採線性化方式處理集貨港不相連接的作法，亦即嚴格路網。

基於本研究假設與目的，在於反應與求解航線的問題特性，因此，本文在模式設計與分析資料上，是以軸輻路網模式為基礎，但不同於上述模式，而必須涵蓋到以下幾點：(1) 非完全路網上，軸心港航行成本以累加函數為基礎，且須考慮軸心港航段的路徑問題，此決策問題將以 0-1 整數變數，在模式表示出。(2) 單一指派上，集貨港與軸心港指派，及集貨港航段的問題，此將以 0-1 整數變數，在模式內表示，以反應出海運接駁航行特色。(3) 非嚴格路網上，航空模式不探討，集貨港航段以迴圈與直達的航行路徑為原則，目的在能反應較高承載率，配合利潤最大的求解目標。(4) 軸心港的數量與位置，及集貨港的決定，此問題在航空模式內不探討，但為海運的分析重點，此點將以 0-1 整數變數，在模式內表示，以描述航商對軸心港的選擇。(5) 規劃這些問題的求解步驟，在收入和成本的抵換下，經由實例的資料與測試，由模式解出決策變數，且分析其與軸輻路網設計的關連性。

在數學規劃式上，軸輻路網式的航線設計問題本質是指派 (assignment) 問題，指派是關於運輸上最佳的成對節點配置，為求兩節點的成本最低的問題。一般而言，這類模式特性是有限制條件的二次指派、0-1 整數規劃，因此在求解目標式時極為複雜，屬於 NP-Hard (non-deterministic polynomial hard) 問題，目前學術上對此問題的解決途徑，主要是以發展啟發式解法或線性化方式，處理求解問題。本篇論文對軸輻路網模式的求解，分析上，以利潤最大化為求解目標，同時假定市場需求量能滿足情況下，並採距離最近 (distance rule) 為指派原則，以簡化港口指派的複雜度，提高求解及演算效率。此作法雖然不能保證尋找出確切解 (exact solution)，但理論上是為近似最佳解。

本篇論文第二部份的最適船型問題，是關於貨櫃船在航線上承載貨物時，能為航商創造出最低單位運送成本的船型大小決策問題，而決定船型的關鍵，在於貨櫃船的港埠成本及海上航行成本。文獻上在求解最適船型問題的方法上，以 Jansson and Shneerson (1982) 模式較具有代表性 (Talley 1990; Cullinane and Khanna 1999, 2000 等亦有類似方法)，其模式 (1-21) 如下：

$$\text{Min } C = \frac{D}{\eta h_2} \sum_{i=k+1}^u P_i q_i S^{(e_i - E_2)} + \frac{2d}{h_i} \sum_{i=1}^n P_i q_i S^{(e_i - E_1)} + \sum_{j=1}^3 C_j \quad (1-21)$$

目標式 (1-21) 表示單位貨櫃運送成本，前二項是每個貨櫃的港埠成本與海上航行成本，最後是固定成本。此式經由線性對數轉化後，可將目標式簡化為單變數函數，並在成本最小為目標下，由微分求解目標值，對應的即為最適船型，S 值。

而本篇論文分析最適船型問題的決策變數，不同於過去僅分析船型，包括船型與船速，及求解上的利潤最大化目標。因此，此部份問題，本文仍以最適船型模式為分析方法基礎，但在設計上，增加船速變數，同時假定市場需求量能滿足情況下，在規劃期限內，求解目標須讓船型與船速的特性，在收入模式和成本模式上反應出來，藉此作為決策船型的機制。分析上，此模式可進行兩變數，或單變數的改變，觀察其成本和收入的影響程度。而此數學規劃式具多變數特性，在求解上，須先判定極值是否存在，先令目標函數 f 的第一階條件為零，再求算目標函數 f 第二階條件，以賀氏矩陣 (Hessian Matrix;

H) 判斷；如果 $|H_1(X^*)| < 0$ 且 $|H_2(X^*)| > 0$ ，則 $d^2f(X^*) < 0$ ，函數在 $X^* = (\text{船型}, \text{船速})$ 處是相對極大值。這個理論上的最佳解，可提供航商針對航線特性及市場條件，在造船的船型與船速規格下，進行最適船型的採購或租賃，及船舶航行決策。本研究採收集次級資料方式，進行實例測試，並進行敏感度分析，以檢定模式穩定度、增加分析上功效。

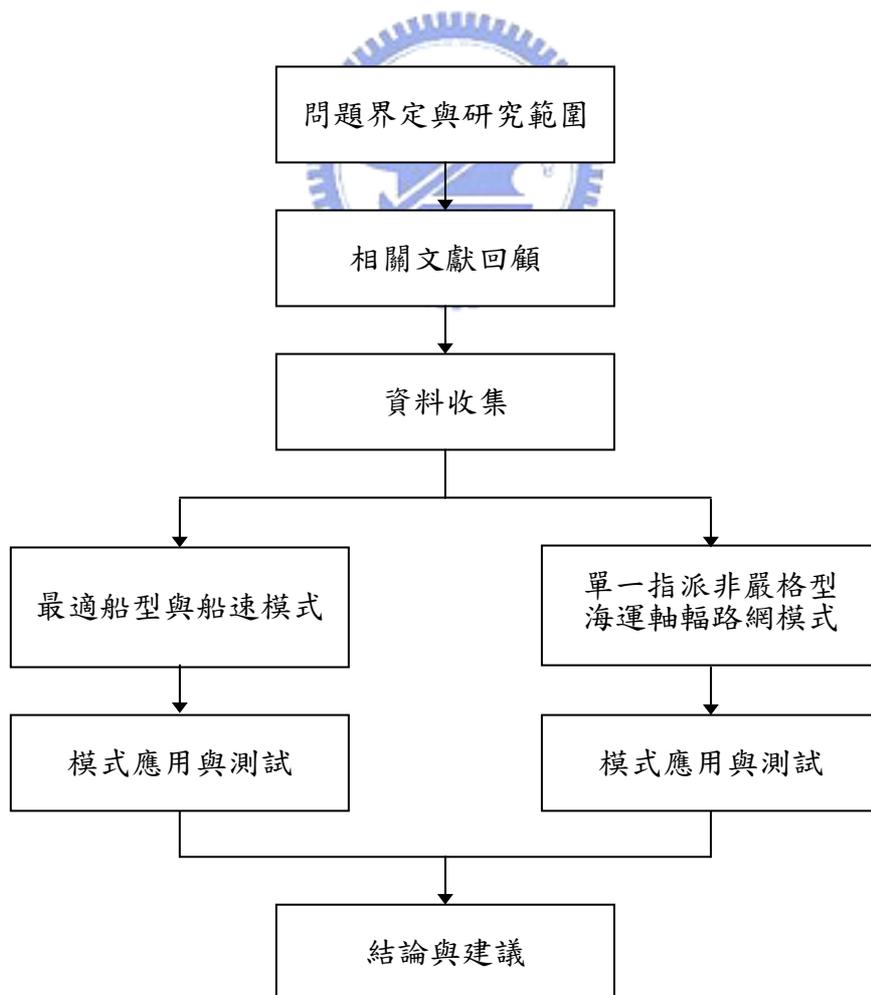
1.6 研究內容與流程

基於研究目的與範圍，本篇論文對問題的分析流程，如圖 (1-4) 所示。在內容上，除了緒論外，接下的依序包括：文獻回顧、最適船型與船速模式、單一指派非嚴格型海運軸輻路網模式、實例測試及說明，及結論與建議。內文分七章，分述如下：

1. 文獻回顧分析軸輻路網問題與類型，包括軸心港位置問題、各類模式、折扣係數，及模式求解法等，並分析海運軸輻路網。其次，討論貨櫃船之航線定線問題，同時比較軸心港位置問題和定線問題的異同之處，藉此以釐清本研究的問題與內容。另外，再探討最適航船型問題與分析方法，最後將文獻回顧，做綜合評析與小結。
2. 為能瞭解船型發展趨勢及其對航線規劃的影響，本文在分析軸輻路網航線規劃之前，先探討貨櫃船型的最適化問題。根據文獻回顧，此章的內容，將從解釋最適貨櫃船型問題的定義，提出船速對問題的影響性，到建構最適船型與船速的分析模式。而分析重點，在於讓船型與船速的特性，在收入和成本上反應出來，以作為決策最適船型與船速的機制。模式內容說明，包括成本項目與船型與船速的迴歸式建立，利潤目標式的建立，模式特性與求解步驟。此外，為進一步瞭解問題與求解，本文以越太平洋航線為實例，測試最適船型與船速模式和說明結果，並進行敏感度分析，以檢定模式穩定性。
3. 根據前述的假設下，本文以單一指派非嚴格型海運軸輻路網模式，作為規劃貨櫃船

航線的基礎，模式發展以求能完整描述海運貨櫃船航線。此章內容，在敘述模式發展背景及目的，從軸心港為船舶大型化後的航線中心開始，討論軸輻路網的型態及特性，各階段的海運軸輻路網模式，到分析定期貨櫃船航線的規劃問題。模式分析重點，在說明數學模式構建變數，軸心港位置模式，集貨港指派模式，求解步驟與解法，及模式的經濟意義。本文以越太平洋航線為實例，測試海運軸輻路網模式和說明結果，並進行敏感度分析，以檢定模式穩定性。折扣係數模式亦是本章分析的另一內容，主要是探討折扣係數的存在及規模經濟性。

4. 實例測試及說明的部份，主要交待主要資料的來源、如何推估相關資料、如何進行資料分析，及如何得出研究結論的過程。本篇論文引用三個實例，進行模式的測試及敏感度分析，經由資料的處理過程，以檢定模式對研究問題的求解效果性，並提出研究發現及未來的研究議題。
5. 結論與建議則綜合本篇論文的研究主題與目的、研究途徑與方法、討論與分析，與研究發現，在研究範圍與限制下，進行整個研究的重點整理，從研究結論、未來研究建議，及研究貢獻三方面，歸納說明。



圖(1-4) 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章整理研究問題之相關文獻，並回顧其問題分析、研究途徑、模式架構，以作為本文規劃研究方向及理論架構之參考。本章內容主要有：2.1 節回顧軸輻路網模式之基本模式與類型、研究問題、折扣係數定義，及海運軸輻路網模式；2.2 節探討船舶定線問題，作為航線規劃之參考和比較的基礎，以確定研究問題；另船型問題與航線規劃問題有密切相關，亦為本研究的主要課題之一，因此與船型問題有關文獻，將整理於 2.3 節，最後在 2.4 節將文獻回顧做評析與小結。

2.1 軸輻路網模式

2.1.1 節回顧主要文獻 (如 O'Kelly, 1987; Campbell, 1994) 對軸輻路網模式的分類，並藉此說明模式在應用上之差異，2.1.2 節說明軸輻路網主要探討的研究問題與模式求解的各式方法，2.1.3 節描述軸輻路網折扣係數的規模經濟性，2.1.4 節回顧海運軸輻路網模式文獻。

2.1.1 基本模式與類型

軸輻路網係指貨物由起運站運送到目的站，有些特別的節點被選用，當作中途貨物轉運或集結中心，此為軸心港，兩地貨物往返運送時不直接抵達，而通常會經由二個 (或以上) 的軸心港，轉運完成運輸作業。軸心港的概念在運輸上，主要來自航空公司的航線結構，稱為軸輻系統 (hub-and-spoke systems)，此系統以某個主要機場為軸，以此機場為中心向四方連結的航線為輻 (spoke)，軸與輻航線的結合，呈現如同車輪架構一般的型態，中樞主要軸心機場是轉運點，能提供旅客或貨物轉運與集貨之服務 (交通部運研所，民 86)。軸輻路網目前已普遍應用在許多領域上，例如，航空運輸、通信網路、郵政系統、和貨櫃運輸。軸輻路網系統包括主軸系統和支線系統，主軸系統指由軸心港之間所構成的主線航線，分完全路網、非完全路網的型態；支線系統是指所有非軸心港與軸心港連結的支線航線，依型態有單一指派、多重指派、嚴格路網、及非嚴格路網。

軸心港提供貨物轉運功能，能促使鄰近貨物集中，因而在軸心航段上產生規模經濟之效益，對航商而言，能降低每單位運送成本，可提昇企業競爭能力。對此，軸輻路網模式以折扣係數，表示軸心港之規模經濟性。軸輻路網的運送成本包含三部份，出發港至軸心港、軸心港至軸心港、軸心港至目的港，因此，尋找最佳軸心港位置是軸輻路網設計上首先面臨的問題，進而才決定集貨港到軸心港之指派方式，此即所謂的軸心港位置問題，目的是藉此定出主軸系統及支線系統，以發揮軸輻路網系統之最適績效，例如，達成運輸總成本最小 (O'Kelly 1987; Aykin 1995; Campbell 1996; Skorin-Kapov et al., 1996; Ernst and Krishnamoorthy 1996; Hsieh and Wong 2003, 2006)，航段距離最短，或時

間最短 (Kara and Tansel 2000, 2003) 的目標。

軸輻路網的航線依不同系統，而出現不同的型態與問題，針對此點，在 Bryan and O'Kelly (1999) 的研究內，將軸輻路網模式整理分為四類，詳述如下：

1. 單一指派模式 (the single assignment hub location model)

在 O'Kelly (1987) 的航空運輸研究中，首先以軸輻路網之單一指派模式，規劃航行路線；模式中限制每個支點 (non-hub node：非軸心港的節點) 只能指派給一個軸心港並與其相接，各軸心港間則是兩兩之間的相互連接，為一完全路網。單一指派模式是航空運輸的基本假設特性，O'Kelly (1987) 建立一個二次指派 (quadratic assignment) 的整數規劃模式，然可簡化為一個線性整數規劃模式處理，以利模式之求解，例如，Campbell (1994)，謝尚行、張斐茹 (民 90) 的研究。單一指派模式對旅客運輸並不方便，因為人員較具時間敏感度，但是單一指派模式較適合區域貨物的運送，因此，可應用於海運貨櫃運輸，尤其是接駁頻繁地區 (O'Kelly 1987；Klincewicz 1992；Campbell 1994, 1996；Skorin- Kapov et al. 1994, 1996；Aykin 1990, 1995；Ernst and Krishnamoorthy 1996；Hsieh and Wong 2003, 2004)。

2. 多重指派模式 (the multiple assignment hub location model)

多重指派模式允許一個支點連接數個軸心港，在軸心港位置為已知的條件下，選擇可降低總運輸成本的節線，這個模式首先由 Campbell (1994) 提出。在 O'Kelly et al. (1996) 的研究中指出多重指派模式的最佳解對所有支點而言，將形成單一指派的情形，也就是單一指派是多重指派的最佳解 (Campbell 1994；O'Kelly and Lao 1991；Klincewicz 1996；Skorin-Kapov et al. 1996；Ernst and Krishnamoorthy 1998；Ebery and Krishnamoorthy 2000)。

3. 軸心港位置是固定的 (extensions with fixed hub location)

有些學者將實際路網之特性納入模式內考量，致使模式變得較為複雜，必需以假設軸心港位置是固定的方式來處理。O'Kelly and Miller (1994) 指出各軸心港間可能不是完全相連的，因此可以減少軸心港間的航段 (interhub links)。Jeng (1987) 與 Flynn and Ratick (1988) 容許集貨點間可以互動而不需經過軸心港，亦即是非嚴格路網策略 (Aykin 1994, 1995)；Kuby and Gray (1993) 延伸 Flynn and Ratick (1988) 的研究，在快遞系統 (express package delivery systems) 的論題中，將接續點 (stopovers) 與集貨點納入路網，集貨點基本上是服務小城市，而小型飛機在軸心港將其貨載轉移給大型飛機，大型飛機則接續在軸心港間的運送，此點特性與海運軸輻路網非常類似，是未來另一個有趣的研究方向。

4. 軸心港位置是內生的 (extensions with endogenous hub location)

然而路網中最佳配置 (optimal allocations) 與軸心港最佳位置 (the optimal location of hubs) 之決策是互相倚賴的，在軸心港位置需要決定的問題中，前述軸心港

位置為固定的假設便無法適用，有鑑於此，有些學者在必須考量路網的某些重要特性時，會構建出一些變體路網，而其軸心港位置不事前給定，而由模式決定的，此點模式的特性，使求解變得較複雜。此類型的模式特性較符合海運軸輻路網內航商選擇軸心港的行為 (O'Kelly 1992; Campbell 1994; Aykin 1995; Hsieh and Wong 2003, 2004)。

軸心港位置是否內生或固定的系統特性是軸輻路網設計的關鍵，Campbell (1994) 進一步的歸納過去研究，將文獻上軸心港問題的相關模式分為四類，分述如下：

1. p 個軸心港中位問題 (the p -hub median problem)

p 個軸心港中位問題 (p -hub median problem) 中軸心港數量是外生的，亦即軸心港是事前給定的，此問題是假設每個集貨點與距離最近的軸心港相連接，也就是將節點作單一指派，而指派到與距離最近的軸心港相連接，模式求解總運送成本最低的路網。此問題之背景系統通常節點較多 ($n > 100$)，相對是軸心港數量少 ($p = 2, 3$ or 4)，大部份航空軸輻路網系統是這類型態，路網內軸心港之間沒有互動。對運輸成本而言，節點指派給最近軸心港的方式，不一定能降低運送成本。而應該是要比較影響運送成本的各項因子，例如流量，而不單只是考量距離這個成本因素而已。 p 個軸心港中位問題的軸心港之間沒有互動的假設，適合大規模系統分析，但無法描述海運貨櫃船在航線上軸心港之選擇的行為。

2. 無容量設限軸心港位置問題 (the uncapacitated hub location problem)

軸輻路網內集貨港指派給最近的軸心港，並不一定能使總運送成本最低，應該要比較影響運送成本的各項因子，例如，各港之間的流量，而不單只是考量距離這個因素。無容量設限軸心港位置問題是納入軸心港的設置成本，由模式決定出軸心港的數量 (O'Kelly 1992; Campbell 1994; Aykin 1995; Sohn and Park 1998)。

3. p 個軸心港中心問題 (p -hub center problems)

p 個軸心港中心問題假設在 n 個節點中，事先給定軸心港的數量 P ，模式尋求軸輻路網內，貨物運送總時間最少或總距離最短。此類模式適合探討時間敏感性貨物或及時存貨需要的軸輻路網 (如 Federal Express)，目前此問題的討論，文獻不多 (僅如 Kara 2000; Pamuk and Sepil 2001)。

4. 軸心港涵蓋問題 (hub covering problem)

與 p 個軸心港中心問題類似，路網設計尋求軸輻路網內貨物運送總時間最少，軸心港數量是外生的，時間內限制貨物必須送達目的地的運送問題，典型的應用如快遞服務 (overnight package delivery)，旅客運輸等 (Kara and Tansel 2003)。

軸輻路網之「軸心港位置問題」與「 p 個軸心港中位問題」皆是探討軸心港位置的選擇，但兩者仍有些差別，分述如下，(1) 軸心港位置問題在成本結構分析上，將總運送成本分成三段來考慮：出發點至軸心港 (origin to hub) 的運送成本，軸心港間的航段運送成本 (interhub link)、以及軸心港至目的地 (hub to destination) 的運送成本； p 個

軸心港中位問題是假設軸心港之間沒有互動，此段往來成本在模式內視為固定值，因此模式只計算由出發點到目的地的運送成本。(2) 軸心港位置問題中，有些模式會分析軸心港的數量與運成本的關聯性； p 個軸心港中位問題是不討論軸心港數量，採事前給定方式。(3) 軸心港位置問題在節點架構上，可分單一指派和多重指派模式； p 個軸心港中位問題大部份是單一指派。 p 個軸心港中心問題不是探討成本，而是追求運送總時間最少或總距離最短的設計。

在海運軸輻路網中，軸心港之間的互動是存在的，而且是往返相連、類似線性型態；倘若軸心港之間沒有互動（即沒有貨物的運輸往來），那麼軸心港作為區域貨物轉運中心的功能將大打折扣，而不符合現實情況。另一方面，海運以貨物運送為主，不如以人員為主的航空運輸具運送時間的高敏感性。因此，下章節主要回顧「軸心港位置問題」的相關研究，而不考慮「 p 個軸心港中位問題」的架構。

2.1.2 研究問題

O'Kelly (1987) 首次提出離散型軸心位置問題 (hub location problem) 之基本模式與假設，在此類問題之數學模式化過程帶來極大的進步，未來可利用線性規劃的一些軟體，來求解這類問題之整數解。二次指派 (quadratic assignment) 整數規劃問題的求解是相當困難的，O'Kelly (1987) 另一重要貢獻為開發出求解此類問題的「啟發式解法」，使得此類問題的分析能有具體應用的價值。由於軸輻路網在節點指派有不規則性，使軸心港位置問題變得較複雜，以致求解上必須藉助電腦，處理計算過程。因此目前大部份研究重點，集中在發展合適的啟發式解法上。

Klincewicz (1991) 發展多準則距離和成本規則，利用叢集啟發式解法，求解大規模軸心港位置問題，其交換啟發式解法 (interchange heuristic) 利用軸心港和集貨系統互換指派，求解決定軸心港位置，另叢集啟發式 (cluster heuristic) 解法把節點分成許多群，再指派最適軸心港。Klincewicz (1992) 以 TABU 啟發式和貪婪啟發式 (greedy heuristic) 解法求算模式目標值。Klincewicz (1996) 利用對偶 (dual) 演算法求解 Campbell (1994) 所構建之多重指派無容量限制位置問題模式，此演算法共分為對偶追溯步驟 (dual ascent) 與對偶調整步驟 (dual adjustment) 兩大步驟。

Campbell (1994) 考量支線的成本及節線與轉運點的容量，改良 O'Kelly (1987) 模式為線性模式，並歸納提出四種軸輻路網問題與模式。Campbell (1996) 首先建立貪婪-交換啟發式 (greedy-interchange heuristic) 解法模式，探討多重指派無容量限制軸心港位置問題，利用 MAXFLO 啟發式解法，以最大流量求解單一指派問題；ALLFLO 啟發式解法，則以最小總成本求解多重指派問題。

Aykin (1994) 首先以拉氏鬆弛法 (Lagrangian relaxation)，並考慮軸心港容量限制求解 p 個軸心港中位問題，作者後繼研究 (Aykin 1995) 將集貨系統分為非嚴格路網策略 (nonstrict hubbing policy)：允許集貨港之間可相互直航，此種類型適合海運接駁系統。另外是嚴格路網策略 (strict and restrictive hubbing policy)：不允許集貨港之間直航。非嚴格路網政策以貪婪-交換啟發式解法 (greedy-interchange heuristic) 進行求解；嚴

格路網政策的求解則利用分枝定限演算法(branch and bound algorithm) 與基礎貪婪-交換啟發式解法(based greedy-interchange heuristic)。Aykin (1994) 認為 O'Kelly (1987) 所提出的啟發式解法並不適用，因運輸成本與距離有關係，證明影響設軸心港位置的因素是節點數、設施點數與兩者間流量，並不只距離而已。

Skorin-Kapov 及 Skorin-Kapov (1994) 發展另一個 TABUHUB 啟發式解法，同時考慮軸心港位置和集貨港指派來求解 O'Kelly (1987) 之軸心港位置問題。Skorin-Kapov、Skorin-Kapov 及 O'Kelly (1996) 修正 Campbell (1996) 模式，首先建立混合整數模式，求解單一指派及多重指派問題之確切解 (exact solution)。Ernst and Krishnamoorthy (1996) 也發展二階段方式求解單一指派及多重指派問題之確切解。

Sohn and Park (1997) 對 Skorin-Kapov、Skorin-Kapov 及 O'Kelly (1996) 之模式，進行單一指派模式的縮減變數與限制式，在已知轉運點位置與數量下，利用 CPLEX 快速求解。Sohn and Park (1998) 以有效縮小模式規模方式，求解多重指派無軸心港容量設限之軸心港位置問題。Ernst and Krishnamoorthy (1998) 發展啟發式解法，求解相同問題，然而 Ebery et al. (2000) 用混合整數規劃，以分枝定限演算法 (branch and bound algorithm) 在最短距離指派原則下，求解相同問題。Boland et al. (2004) 對混合整數規劃模式，處理其限制式，再求解多重指派問題。

其他如 Kara and Tansel (2000) and Pamuk and Sepil (2001) 則探討 p 個軸心港中心問題，而 Kara and Tansel (2003) 探討軸心港涵蓋問題，此兩類主題較新，但仍在單一指派、嚴格路網的基礎下，尋求模式的有效求解法。

2.1.3 折扣係數 (discount factor)

「折扣係數」是單位運輸成本之乘數，表示軸心港間因大量貨源集中而產生規模經濟性，其成本降低之比值即定義為折扣係數。此係數的範圍介於 0 和 1 之間，此值愈小，表示兩軸心港間之規模經濟愈明顯，文獻上軸輻路網模式大多以此值，代表兩軸心港間有無達到規模經濟 (economies of scale) 的指標 (例如 Aykin 1995; Campbell 1996; Ebery 2001)。對折扣係數的應用，在 O'Kelly (1987) 的二次指派整數規劃式中，首先提出 HEUR1 與 HEUR2 的啟發式解法求解軸心港位置問題，使得折扣係數的研究有初步基礎；該模式以折扣係數表示軸心港之間互動的運輸規模經濟性，並假設其為完全路網。所謂互動的軸心港，乃是指軸心港間具有貨物的往來，表現在路網上，就是指軸心港之間的節線 (interhub links) 具有正的流量。

O'Kelly et al (1996) 以主線間成本的折扣係數，對幾家實際的航空公司作測試，模式給定三個或四個軸心點 ($p = 3$ or $p = 4$)，分別選取十、十五、二十、二十五 ($n = 10, 15, 20, 25$) 個路網節點作交叉分析，該研究發現，如何選擇最適合的軸心站數量，與各航點的固定成本和航線上之折扣係數有關。

海運軸輻路網中，折扣係數可定義為大型母船之單位運送成本，與小型子船之單位運送成本的比值。對定期貨櫃船隊的軸輻路網規劃而言，軸心港位置是首要的決策議

題，而折扣係數為軸心港位置模式求解上的關鍵。王賢崙、許惠淑（民 95）建立折扣係數模式，探討海運軸心港的規模經濟性，研究發現：折扣係數值隨貨櫃船型增加而減小；隨軸心港距離增加而減小。當大型船的承載率低於小型船時，折扣係數將不存在。

2.1.4 海運軸輻路網模式

謝尚行和張斐如（民 90）參考 O'Kelly (1987) 的單一指派之軸輻路網模式，首先將航空運輸的軸輻路網架構，運用於定期貨櫃船的航線規劃上。該研究結合海運軸心港、集貨港、主線以及輻線之特性，並將貨櫃母船與子船之單位運送成本之比率定義為折扣係數，以此建立一個二次指派之「海運軸輻路網模式」模式，目標為求總運送成本最小化，此模式被適度簡化為線性模式，因此不必考慮到軸心港口之指派，以方便目標值求解。謝尚行與張斐茹（民 90）的海運軸輻路網模式（參考圖 2），容許軸心港間不是完全路網，結構上較為簡單易解，且較合乎貨櫃船越洋航線之特性，但仍限制每個集貨港只能與一個軸心港連接；因此其為線性單一指派模式。

謝尚行、游至誠及王賢崙（民 90），Hsieh and Wong (2003) 的研究，以謝尚行和張斐如（民 90）的單一指派模式為基礎，但允許集貨港與軸心港不直接相連，並首先分析海運支線系統的各種可能接駁方式。宋玚俊（民 91）除了允許集貨港與軸心港不直接相連外，並初步探討集貨港與軸心港的指派方式，同時決定子船船隊的最佳數目。謝尚行、王賢崙及宋玚俊（民 91）研究發現，貨櫃船隊的航線總利潤，會隨母船所停靠軸心港數量，先遞增而後遞減，而在兩個鄰近港口的競爭中，提供較低港埠費用的港口，較易被評選為軸心港。Hsieh and Wong (2004) 以謝尚行和張斐如（民 90）的模式為基礎，決策軸心港位置與數量，並進一步分析集貨港指派對航線設計與利潤的影響；該研究以迴圈與直達為支線基礎，並以實例分析，研究發現支線的集貨港指派，不僅會影響航線的利潤，而且會改變軸心港位置與數量，及最佳軸輻路網的型態。Hsieh and Wong (2006) 則分析折扣係數值對支線的集貨港指派的影響，研究發現，折扣係數能改變支線系統成本及支線航行選擇。

其他相關文獻，則未論及到航線規劃問題，例如，Robinson (1998) 將亞太地區定期航運以路網型態分成傳統航線、主線與接駁航線，及多層次路網航線的階段發展，並藉接駁航線型態以擴大服務、發揮大型船之規模經濟性。Mourao, Pato and Paixao (2002) 以軸輻路網架構，發展整數規劃模式求解貨櫃船隊的指派問題 (fleet assignment)。陳春益和邱明琦（民 91）在考量航線實務與發展趨勢下，利用網路流量觀念探討航線設計與貨櫃排程問題。Hsu and Hsieh (2005) 以航商運送成本和貨主存貨成本，發展兩目標模式，分析直航與軸心港轉運的效益性，以決策海運貨櫃運送方式。

2.2 船舶航線規劃模式

Ronen (1993) 認為航線規劃 (routing) 是航商把港口指派 (assignment) 給一組船舶，以供其航行泊靠的行為，所謂港口是指許多港口的集合，集合內的港口是按序排列 (sequence) 的。部署 (deployment) 是航商把船舶指派到航線上的船隊之行為，所

謂船舶是包括船舶的數量或船型大小，而船舶部署通常是長期性的規劃。航線 (routes) 指船舶在指派的港口之間航行，由船舶航行的航段所構成之集合。排班 (scheduling) 是航商指派船舶在航線上的航行次數。一般而言，船隊之規劃與管理是探討船隊規模、航線規劃、船舶部署、船舶排班、航行速度 (cruising speed) 以及特殊混合問題。而這類船舶相關問題的求解方法，主要有整數規劃模式、非線性規劃模式以及動態規劃等，求解的目標在達成運輸總成本最低。

早期船舶航線制定，通常是模擬或動態規劃的技巧，決定船隊航線之配置。如 Olson, Sorenson, and Sullivan (1969) 以模擬的方式獲得貨櫃船船隊航線選擇及船期表的規劃，但由於資料取得不易及模擬步驟繁複，逐漸以數學模式建構的方式取代之。

Bradley (1977) 針對美國定期商船以線性規劃模式，以四個構面規劃，分別為運量、不同船型的營運計畫設計、船舶任務的分派，及卸貨港容量，求解最佳航線船舶部署，分析主要的決策變數為船舶數量及每年船舶航行次數。Lane, Heaver, Uyeno (1986) 假設航線上貨物需求量已知下，發展三步驟的方式，求解最少船舶數量之船隊部署。第一步驟為列舉出可供航行之船舶以作選擇，第二步驟利用啟發式的演算法求解出船舶最佳排程，第三步驟以分割模式指派的方式，確保船隊起運港只會運送一次，並以整數規劃求解出最小成本。

Jaramillo and Perakis (1991) 以線性規劃模式，考慮航段成本和時間限制，規劃期間內船舶航速和航次維持不變，在給定航線下，分析定期貨櫃船隊之船隊組合和船舶部署問題。同時建議兩種混合整數規劃模式，以供後續研究參考。

Rana and Vickson (1988, 1991) 利用數學規劃方法，以單一航商所服務的港口路網中，描述貨櫃船航線選擇問題。假設航線兩端點為固定、航次固定，航次為整數，及貨物不能跨越去回航次。以營運利潤最大化為目標，求解船舶最適靠港序列、船舶航行次數，及兩港口間的貨櫃運送量。此模式為非線性混合整數規劃，使用拉式鬆弛法 (Lagrangian relaxation method) 及分解法 (decomposition method)，將原始問題分解為數個子問題，每個子問題又再分解為數個問題，接著再進行求解。Rana and Vickson (1988, 1991) 模式將航線分去程與回程兩個部份，會形成迴圈方式，符合實際貨櫃船營運方式。但是，該模式描述港口之間的貨櫃船靠港問題，類似軸輻路網主軸線的軸心港航段規劃，但整個分析基礎，未討論軸心港與接駁系統，因此不太適合於軸心港位置問題的分析。

Cho and Perakis (1996) 利用兩種模式探討航線排程之問題，求解定期船問題，第一種模式是在船隊規模固定，假設收益和成本已知，港口貨量及船舶容量限制下，建立定期航線之線性規劃模式，在利潤最大化目標下，求每艘船在各航線的最佳航次，即船隊航線與部署。第二種模式，以第一種模式為基礎，擴大船隊策略，改以成本最小化目標，形成一個混合整數規劃模式。Cho and Perakis (1996) 在上述兩種模式中，建議可

利用既有之最佳化軟體進行求解，而未提出應用實例與求解結果，在面對大型問題時，提議以拉氏鬆弛法求解。此模式能在已知若干候選航線下做選擇，以處理船舶定線與部署問題，但模式本身無法自行找出最佳航線。

彭信坤（民 71）構建船舶靠港與裝卸量選擇模式，以動態規劃之方法求解最適船型部署、最適航線，及最適船期之決策，此研究並未對實務上航線設計之考量因素做具體分析。陳冠州（民 75）研究在營運成本最小下，以船舶數量、貨櫃量、航行頻次，及船席數等為決策變數，求解貨櫃船舶的部署。陳春益和張永昌（民 86）研究定期貨櫃船航線之泊靠港口的選擇問題，以某航商美西到東亞線為例，利用區位選擇之概念構建成本最小化混合整數規劃之模式求解，此模式考量去程之單向航線、單向航次港埠及相關的營運成本。林永山（民 86）以航線運量及市場競爭之概念，分析定期航線上最適船型與航線港口的配置狀況。盧華安和徐育彰（民 90）以載運條件及服務品質為限制條件，在多條候選航線中，構建航線選擇與船隊部署的模式，該模式亦為一混合整數規劃模式，但有放鬆貨櫃變數，使整數變數大幅減少。盧華安（民 91）以混合整數規劃模式，考量航線、船舶數量，及航程週期限制，在載運需求已知下，探討定期貨櫃航線設計之內容與航商規劃流程。

Christiansen and Nygreen (1998) 利用分枝定限法 (branch and bound) 在存貨限制下，求解貨櫃船定線問題。Fagerholt (1999) 探討定期航線之最適船型、航次，及航線問題。Lu (2002) 發展分枝定界法在航程時間和船隻限制下，求解貨櫃船定線問題。Chu et al. (2003) 發展混合整數規劃模式，考慮航程時間限制，求解最適貨櫃船舶靠港順序和港口貨櫃流量問題。Azaron and Kianfar (2003) 以半馬可夫 (Semi-Markov decision) 鏈決策程序，利用隨機動態規劃 (stochastic dynamic programming) 和路網理論，尋求貨櫃船最短航行路線。

2.3 最適貨櫃船型模式

最適貨櫃船型問題的相關研究，近 30 年來並不多，主要的研究模式以 Jasson and Shneerson (1982) 為主，其他如 Talley (1990)、Cullinane and Khanna (1999)、董孝行 (民 75) 等亦有類似方法。Jasson and Shneerson (1982) 以貨櫃船的資金成本、海上航行成本，及港埠成本，建立最適船型模式，以最低成本為目標，衡量船型大小的準則。主要結論是：貨櫃船的規模經濟，在於資金成本與海上航行成本，亦即船型愈大，每運載一個 20 呎單位貨櫃 (twenty-foot equivalent unit; TEU) 的資金成本與海上航行成本會遞減；而規模不經濟則發生在港埠作業成本，即船型愈大，每運載一個 TEU 的單位港埠作業成本會遞增。這些成本的總和即為運載一個 TEU 的平均成本，其相對於船型的函數圖形，是一條 U 型曲線 (圖 2-1)，而圖形的最低點，即表示在平均成本最低時的最適貨櫃船型。

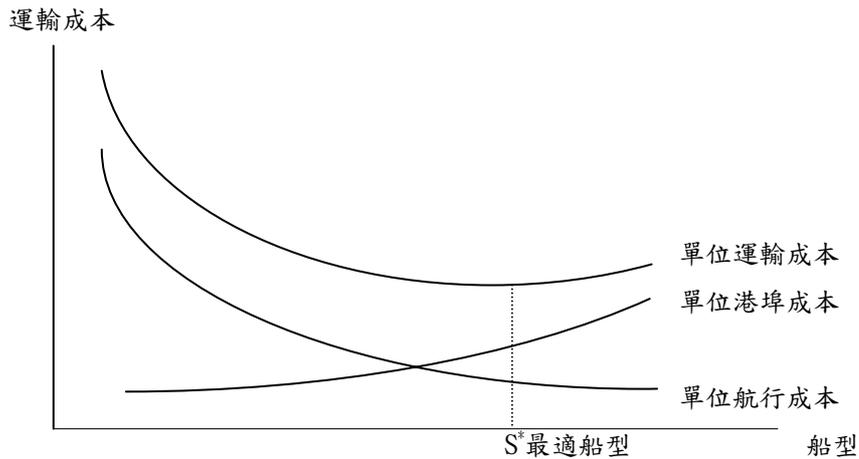


圖 2-1 貨櫃船型與單位運輸成本之關係

Talley (1990) 以成本模式分析最適貨櫃船型，主要發現有：(1) 當航行距離和靠港時間固定，則最適貨櫃船型隨靠港數增加而減小；(2) 當航行距離和靠港數固定，則最適貨櫃船型隨靠港時間增加而減小；(3) 當靠港時間和靠港數固定，則最適貨櫃船型隨航行距離增加而增大。

而 Lim (1994) 針對租傭船分析，認為貨櫃船之經濟規模也受許多外在變數影響，例如航線特性、航行距離、靠港數、運費水準、目標裝載率、營運天數等。由於比較不同船型之實際成本結構，出現船舶規格、營運標準、會計方式不一，而對最適船型沒有一般解法，結論是大型貨櫃船沒有規模經濟效益，此點與大部份的研究結論並不相同。

McLellan (1997) 從另一個角度去思索貨櫃船大型化以後，可能面臨的問題，例如港口之水深，橋式機吊臂的長度，船舶之動力與碼頭空間腹地等；認為由於存在這些配合問題，以目前貨櫃船訂單的狀況，在未來幾年內貨櫃船型噸位的增加應會趨於停頓，而不會有超大噸位船舶的出現。事實上，近年船舶的大型化發展，沒有緩慢下來，反而有加快現象，例如，去年 (2005) 巴拿馬級船型就有 $2.5 * 10^6$ TEU 加入市場，占全球供給量的 30%，較 5 年前 (2000) 的同級船型增加 17% 倍 (CI, 2005)。

最近 Cullinane and Khanna (1999) 以成本函數觀念，對 370 艘船隻的實際航行資料進行迴歸分析，探討貨櫃船型增大對規模經濟的影響。結論是小於 1,500 TEU 的船型沒有規模經濟性，而目前最適船型約為 8,000 TEU，若港埠作業效率能再提高，則貨櫃船能降低單位成本，船型噸位將再增大。作者在其 2000 年的後續研究，認為船舶大型化的規模經濟性與航商、集貨中心、港口有很大關聯，港口將貨物分散至各地區的能力非常重要，港埠效率高才能吸引大船停靠。

吳偉銘和范迪蔚 (民 90) 則探討貨櫃船大型化對海運市場的影響，提出影響航商船舶大型化因素，包括：成本、市場需求、聯盟趨勢、船體設計，及競爭策略等。吳偉銘 (民 91) 藉由計量經濟之 Panel Data 迴歸模式與 SUR 迴歸模式，探討船舶大型化對國籍貨櫃航商的經營績效衝擊，發現市場競爭壓力的減緩與否，才是關鍵所在。謝尚行

和王賢崙（民 89）認為貨櫃船的經濟船型有逐期（每十年）增大一級的現象，此應與造船科技、全球貨櫃化及貨櫃裝卸效率提升有相互關係。郭重佑（民 92）提出船型大、船速慢的組合，能為航商創造最大利潤，此點與實務不太符合，推測應與模式引用的營運成本有關。許巧鶯和謝幼屏（民 92）以航運成本及存貨成本，建立兩目標模式，在雙曲線數學特性下，決策出最適船型與頻次，並分析貨物流量與貨櫃船型之關係。謝尚行和王賢崙（民 95）分析最適貨櫃船型問題，貨量給定下，提出船速對利潤的影響。

2.4 小結

本章回顧與本研究問題的相關文獻，整理其在問題分析、研究途徑、模式架構，及結論上的重點，提出尚未處理部份和可供未來研究議題，歸納如下：

1. 軸輻路網研究集中在航空問題，海運則不多，因此對貨櫃船定期航線問題方面，仍有重要議題尚未被討論，例如，如何決策軸心港數量與位置？軸心港條件及支線指派選擇？船隊承載能力和燃油價格，會影響到軸輻路網航線的設計？折扣係數對軸輻路網的經濟意涵及影響性？等問題。此為本文擬進一步探討的重點。
2. 就軸輻路網模式而言，雖然在航空問題處理上相當成熟，但對不同問題的模式發展及求解上，仍然存在困難，此關鍵在於軸輻路網會因不同系統，衍生出複雜的航線特性，而導致不容易有一般性的求解模式。因此，模式應用上，如何表現出系統的獨特性與規模，例如海運，建構妥適的數學規劃式及求解途徑，以確切描述出實際架構，是軸輻路網研究將會面臨的議題。
3. 船舶航線模式的重點，主要在解決船舶靠港順序的問題，但這類研究不考慮網路式的航線型態，因此，無法解決貨櫃船大型化後，面臨的港口選擇與航線規劃的新問題。就此問題的解決角度，應用軸輻路網式的架構，去分析軸心港為轉運中心的趨勢，進而處理海運航線設計的問題，是新的研究途徑，應較符合對貨櫃航線的轉變型態描述。
4. 軸輻路網與船舶航線在處理的問題、理論架構、和模式分析，是不同的，本文綜合整理如表（2-1）所示。對此的比較，重點不在於分析兩者的模式優劣，而是藉此差異的說明，讓軸輻路網的分析架構與用途更清楚。
5. 軸輻路網式的航線設計，主要是經由幾個步驟完成的，分述為：（1）在計劃航行區域內的港口中，區別與決定軸心港位置，（2）決定軸心港之間的主軸航段，及航行型態，（3）分配非軸心港與軸心港之間的指派，以形成支線系統，（4）規劃支線系統的航行型態，（5）調整主軸線與支線的可能航行路徑，（6）決定最適的軸輻路網式航線。其中，第（1）、（4），及（5）項，是本篇論文擬針對海運系統特性而補充的，並作為貨櫃船定期航線的模式發展及求解依據。
6. 最適貨櫃船型模式在分析船型與規模經濟的問題，過去文獻主要是以成本面作為衡量船型大小的基準。這些模式把船速視為定值處理，直接分析船型大小，此做法容易導致不適合的船舶航行決策。探討最適貨櫃船型問題，如配合分析船速效果，應更能釐清研究問題。此為本文擬探討的另一重點。

表 2-1 軸心港位置問題與貨櫃船航線問題之基本差異

項目	軸心港位置問題	貨櫃船航線規劃問題
基本航線 型態假設	軸輻路網型態之航線架構， 分主軸系統和集貨系統。	線形或迴圈式航線， 單一系統。
航線船型	(1)大型母船行駛主軸系統； (2)小型子船行駛集貨系統	單一船型。
港口類型 與決策	分軸心港與集貨港， 分析轉心港的具備條件。	不討論港口類型。
軸心港 數量和位置	探討軸心港的數量和位置，及其對 路網設計與決策的重要性。	不分析軸心港的選擇問題。
轉運系統	有。(分析集貨港的指派和型態)	無。
理論基礎	規模經濟、指派問題、位置問題。	航線規劃問題。(常接合航線排 程與船隊佈署)
折扣係數	有。(反應軸心港之規模經濟性)	無。
問題特性	二次指派。	排列組合。
目標值求解	NP-hard 問題，啟發式法。	拉氏放鬆，分枝定界法。
求解目標	運送成本最低、時間最快、路徑最 短等不同目標。	主要以運送成本最低為目標。
求解流程	在港口給定下，先選出軸心港的數 量和位置，再決定集貨港到軸心港 的指派，選擇集貨系統的航線型 式，最後挑選出最佳軸輻路網的組 合航線。	在港口給定下，列出所有可能 的靠港順序的航線，再挑選出 最具經營貢獻的航線(包括船 舶安排)。
應用範圍	航空、快遞、通信及海運系統。	海運、公路系統。

第三章 最適貨櫃船型與船速模式

根據前文(1.2.3節)分析，最適船型問題與航線規劃問題，不論在問題衍生，與策略上均有密切關連性，因此，本文在進行航線規劃問題分析前，先探討最適船型問題。本章內容有五節，3.1節最適船型問題，概述本文的問題背景及重要性；3.2節數學模式之構建，說明模式的基本概念、假設條件，與研究變數；3.3節模式內容說明，3.4節模式求解說明，列出求解步驟；3.4節運送成本與船型和船速之迴歸式分析，說明成本類別、資料來源、迴歸式之建立，並解釋其經濟意義；3.5節小結。至於此模式的實例應用與敏感度分析，則在第四章說明結果。

3.1 最適船型問題

近幾年來，航商在全球主要航線上貨櫃船型的訂購，有逐期逐漸增大趨勢。目前使用超過 20 年船舶，占全部貨櫃船市場的 23.8%，這些船舶處於汰舊換新階段，根據國際化貨櫃期刊 (Containerisation International; CI, 2005)，2005 年全球在後巴拿馬極限貨櫃船型¹ (post-Panamax) 的供給量將有 $2.5 * 10^6$ TEU，約占全貨櫃船承載量的 30%，比 2000 年的供給量增加 17%。從 2007 年開始，航商將有超大型貨櫃船加入營運 (如 Maersk Sealand 6 \times 8,200 TEU, 4 \times 9,200 TEU; MSC 19 \times 8,000 TEU, 13 \times 9,200 TEU; PONL 10 \times 8,478 TEU)。此外，日本三大造船廠已開始合作開發 12,500 TEU 超大型貨櫃船之設計。

航商以大型貨櫃船營運，主要是希望能藉大量承載貨物，而降低單位航行成本，例如：6,000 TEU 貨櫃船相較 4,000 TEU，可節省約 30% 船員費用，20% 燃料費用，15% 港口費用及 10% 保險費用，而更大型 9,500 TEU 比 4,500 TEU 節省 30~35% 單位運送成本 (CI, 2005)。然而，大型貨櫃船需要的作業腹地大、裝卸時間長、起重機臂長夠，因此容易造成停港選擇與裝卸作業的限制，進而影響航商在航型與航線規劃的決策。

過去文獻對最適貨櫃船型問題的分析，主要在進行能為航商創造出最低單位運送成本的船型大小決策 (Jasson and Shneerson, 1982; Talley, 1990; Cullinane and Khanna, 1999, 2000)。然而，除了貨櫃船型以外，船速是另一項關鍵的分析變數 (Gilman, 1980)。主要理由是：(1) 相同噸位之貨櫃船，若船速快者，則訂造成本較高；(2) 船速快之貨櫃船，在相同期間內，航行距離較長，會增加燃油成本；同時，靠港口次數多，亦增加港埠作業成本；(3) 船速快之貨櫃船，相同時期航次增多，可增加貨櫃載櫃量，收入會增加。因此，航行速度的快慢，會影響航線經營成本和收入，此抵換 (trade-off) 效果可能改變原來利潤。Lim (1994) 研究提到過去長榮海運 (Evergreen Maritime Corporation) 與美利堅輪船公司 (United States Lines) 在開闢環球航線的競爭中，船速是雙方成敗的關鍵因素之一。是故，對最適貨櫃船型的決定，若不納入船速因素分析，則

¹ 根據日本港灣技術研究所高橋宏直(1996)，此種船船寬為巴拿馬運河容納的極限 32.92 公尺，其船長亦為巴拿馬運河容納的極限 305 公尺，載運量超過 4,000 TEU，為能通過巴拿馬運河之最大型貨櫃船。

容易簡化模式，可能產生不適的解，而影響到航商在船舶訂購之考量基準。

本文建構之最適貨櫃船型模式，不同於過去文獻所用之方法，主要特性在於：(1) 此模式不僅分析成本面，且擴及收益面，據此決策最適貨櫃船型，較符合航商實際經營行為；(2) 此模式不僅考慮船型，且納入船速，同時分析兩變數，或單變數的改變，對成本和收益的影響，較以往研究完整與具體；(3) 此模式是雙決策變數，目標式為嚴格凸向上函數 (strictly concave function)，存在唯一的全域最佳解，具有預測船型發展的功效。本文以遠東/北美航線港口為例，測試模式並進行敏感度分析，資料參考國際貨櫃化期刊 (CI, 1999~2002)、Lloyd' s Shipping Economist (LSE;2002)、本地航商，及港口網站之相關成本報告。

3.2 數學模式之構建

本小節基於前面背景問題的說明，進行最適貨櫃船型模式的構建，主要分為模式基本概念、模式基本假設，及數學模式等三部份，說明如下：

3.2.1 模式基本概念

實務上，航商在評估訂造貨櫃船之因素相當複雜，例如，區域經貿、運輸需求、競爭分析、航線規劃、船齡、服務品質，及經濟利益等。不同貨櫃船型各有其優勢和劣勢，航商籍這些因素衡量權重，選擇航線最適當的船型。本文簡化最適船型問題，以變數可量測性，作為本研究模式設計基礎。

本文模式之目標，在於讓船型與船速的特性，在收入和成本上反應出來，以作為決策最適船型的機制，重點在於建構的利潤函數上分析。為了瞭解利潤模式行為，首先先行確認出影響利潤的因素，然後再分析這些因素與利潤之間的關係。成本-數量-利潤分析法 (CVP) 是分析不同營運決策如何影響公司淨利的方法，它是從瞭解變動成本、固定成本、單位售價和產出水準彼此間的關係為依據的分析方法，此分析可應用於新產品或服務的引進。其基本概念源自經濟學之：

$$\text{利潤} = \text{收入} - \text{總成本}$$

由於總成本包括固定成本和變動成本，所以利潤=收入-(固定成本+變動成本)。固定成本指在相關範圍內，運送成本不因銷貨量變動而變動之成本，貨櫃船提供艙位服務所產生的固定成本，主要可歸納兩類：(1) 資金成本，指折舊和利息，此項為貨櫃船主要成本，約占總成本 59% (Heaver, 1985)，(2) 營運成本，此項包括船員薪資、船舶維修費、船舶保險費、物料費、停港燃料費，及行政費等。變動成本指成本中隨銷貨量變動而變動的部份，包括：(1) 航行燃料費用，(2) 港口費用，例如碇泊費、領港費、噸稅、拖船費，及入港費等，(3) 貨櫃裝卸費、傭金，及代理費。本研究據此選擇與船型和船速有相關的主要成本項目，作為模式分析基礎。

3.2.2 模式基本假設

本研究為確定模式使用範圍，並適當簡化複雜度，在分析上必需的基本假設條件如下：

- 貨櫃船之固定成本會隨船型/船速變動而變動；
- 規劃期內各港口間運費水準由市場決定而且維持固定，所有航商都市場價格追隨者 (followers)；
- 貨櫃船往返港口間平均承載率，為預設定值，且市場運量需求可滿足；
- 港口水域與腹地及橋式機吊臂 (gantry crane reach) 作業對大型貨櫃船沒有限制；
- 不考慮貨櫃船之其他營運成本，如空櫃租賃成本、貨主時間成本；
- 貨櫃船行駛於單一航線上，從出發港到目的港之外，不停靠任何中途的港口。

3.2.3 模式參數說明

本文模式引用之變數與參數，說明如下：

V_i : 貨櫃船 i 的海上航行速度 (船速)，單位以節 (knot) 表示；

S_i : 貨櫃船 i 的載櫃容量 (船型)，單位以 TEU 表示；

R_i^y : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ab} 上每年總收入，單位以美元/年表示；

C_i^y : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ab} 上每年總成本；單位以美元/年表示；

Q_i^y : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ab} 上每年總航次數；

F_{ab} : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ab} 的運價，單位以美元/TEU 表示；

F_{ba} : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ba} 的運價，單位以美元/TEU 表示；

L_k : 貨櫃船 i 在港口 k 的承載率， k 在航線 \overline{ab} 上，此值介於 0 與 1 之間；

D_i : 航線 \overline{ab} 的海上距離，單位以哩表示；

C_{fi} : 貨櫃船 i 每日燃油成本，單位以美元/噸表示；

N_i^k : 貨櫃船 i 在港口 k 每小時貨櫃裝卸數量；

O_i^k : 貨櫃船 i 在港口 k 每小時貨櫃裝卸費率；

C_{ci} : 貨櫃船 i 之購買價格，單位以美元/船表示；

C_{ci}^y : 貨櫃船 i 每年資金成本，單位以美元/年表示；

C_{pi}^y : 貨櫃船 i 每年營運成本，單位以美元/年表示；

C_{wi}^k : 貨櫃船 i 在港口 k 的每日碇泊成本，單位以美元/TEU 表示；

E_i^k : 貨櫃船 i 在港口 k 的每次滯港天數；

E_i^s : 貨櫃船 i 在航線 \overline{ab} 每航次航行天數；

其中，貨櫃船是指提供海上貨櫃運輸的全貨櫃船，船型和貨櫃以 TEU (twenty-foot equivalent unit) 為計算單位。

3.2.4 數學模式

本文建構最適貨櫃船問題之數學模式，目標函數為求算利潤最大值，如下各式 (3-1)~(3-5)：

$$\pi = \underset{(v,s)}{\text{Max}} f(V_i, S_i) = \underset{(v,s)}{\text{Max}} (R_i^y - C_i^y) \quad (3-1)$$

上述數式 (3-1) 中， π 表示目標函數之最大值， $\underset{(v,s)}{\text{Max}} f(V_i, S_i)$ 表示求解由船型 (V_i) 和船速 (S_i) 所構成的函數 $f(x)$ 之最大值， $\underset{(v,s)}{\text{Max}} (R_i^y - C_i^y)$ 表示求解總收入 (R_i^y) 減總成本 (C_i^y) 的函數之最大值，其中：

$$R_i^y = [(F_{ab} \times L_a \times S_i) + (F_{ba} \times L_b \times S_i)] \times Q_i^y \quad (3-2)$$

表示年總收入模式 (3-2)，貨櫃船收入等於每航次的運費乘載櫃量，每航次指去程與回程一躺，此收入表示為 $[(F_{ab} \times L_a \times S_i) + (F_{ba} \times L_b \times S_i)]$ ，然後再乘每年的航行次數 (Q_i^y) 而得出年總收入。式 (3-2) 內載櫃量與船型有關，而航次多寡與船速有關。

目標式 (3-1) 內，

$$C_i^y = (C_{ci}^y + C_{pi}^y) + Q_i^y (L_a + L_b)(O_i^a + O_i^b)S_i + (C_{wi}^k \times E_i^k \times Q_i^y) + (C_{fi} \times E_i^s \times Q_i^y) \quad (3-3)$$

表示年總成本模式 (3-3)，本模式在貨櫃船成本計算，主要以資金成本、營運成本、燃油成本、碇泊成本，及貨櫃裝卸費等五項為主，前四項成本與船型和/或船速有關。總成本模式 (3-3) 內， $(L_a + L_b)(O_i^a + O_i^b)S_i$ 表示貨櫃船往返起、迄港口一航次的貨櫃裝卸成本。

總收入模式 (3-2) 內，

$$Q_i^y = 360 \div \left[\left(\frac{2D_i}{V_i} \div 24 \right) + \left(\frac{2(L_a + L_b)S_i}{N_i^k} + K_n \right) \div 24 \right] \quad (3-4)$$

表示貨櫃船在航線上每年往返的總次數，此值為一年 360 天數除貨櫃船往返一航次的天數。貨櫃船每往返一航次的時間，包括海上航行天數及滯港天數。海上航行天數是海上航行距離除航行速度而得出，以式 $\left(\frac{2D_i}{V_i} \div 24 \right)$ 表示。滯港天數多寡與貨櫃船型、載櫃率、

與港口裝卸效率有關。

總成本模式 (3-3) 內，

$$E_i^k = \left(\frac{2(L_a + L_b)S_i}{N_i^k} + K_n \right) \div 24 \quad (3-5)$$

表示貨櫃船每航次的滯港天數，包括港口作業時間和準備時間。港口作業時間計算是貨櫃船承載量除港口裝卸率，港口作業以 24 小時為基準。準備時間包括貨櫃船在港口 K 的入港前置時間和出港準備時間，而這兩項與船型和船速關係甚小，可視為固定值，以 K_n 表示。

3.3 模式求解說明

上述模式 (3-1) 之各項參數除了四項成本外，即資金成本、營運成本、碇泊成本，及燃油成本，其餘為已知數值，因此只須將這些成本轉化成與船型船速的關係式，即可化解成兩變數函數的規劃式，再分別求解出模式目標值與其對應的變數值。本節模式目標值的求解步驟如下：

- (1) 列舉出最適貨櫃船模式 (多變數) 內之主要成本項目；
- (2) 建立主要成本項與決策變數 (船型/船速) 之迴歸式；
- (3) 將迴歸式帶回原模式並整理成為雙變數函數；
- (4) 求解新模式之目標值及決策變數；
- (5) 分析各參數變動對目標值與對應最大值之影響。

本模式數學上的特性是求解多變數、無限制式之目標函數 f 的極值；其求解方法分述如下：

- (1) 先判定極值是否存在，首先令目標函數 f 的第一階條件 (the first order condition; FOC) $\nabla f = \phi$ ，找出函數極值位置 $\mathbf{X}^* = (V_i, S_i)$ ；
- (2) 其次，求算目標函數 f 第二階條件 (the second order condition; SOC)，做法是建立函數的賀氏矩陣 (Hessian Matrix; H)；
- (3) 若 $|H_1(\mathbf{X}^*)| < 0$ 且 $|H_2(\mathbf{X}^*)| > 0$ ，則 $d^2f(\mathbf{X}^*) < 0$ ，函數在 $\mathbf{X}^* = (V_i, S_i)$ 處是相對極大

值。(其中， $d^2f(\mathbf{X}^*) = [d\mathbf{X}]H(\mathbf{X}^*)[d\mathbf{X}]$ ，而 $\nabla f \equiv \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \end{bmatrix}$ ， $H \equiv \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_2} \end{bmatrix}$)。

3.4 運送成本與船型和船速之迴歸式分析

本模式先對資金成本、營運成本、燃油成本，及碇泊費用等選用的成本，建立與船型及/或船速之迴歸彈性值，作為分析的基準。過去的研究 (JS,1982; Tally,1990) 均顯示非線性迴歸式配適良好，其中又以指數式或線性對數式 (log-linear equation) 分析能力較佳。例如資金成本 (C_{ci}^y) 與貨櫃船型 (S_i) 和船速 (V_i) 之關係，其迴歸式： \ln

$C_{ci}^y = \alpha + \beta \ln S_i + \gamma \ln V_i$ ，此式相當於下列幂次模式 (power model)：

$$C_{ci}^y = AS_i^\beta V_i^\gamma \quad (3-6)$$

其中， β 是資金成本 (C_{ci}^y) 對船型 (S_i) 的彈性，表示在船速 (V_i) 固定時，當船型變動 1%，則資金成本會變動 $\beta\%$ ，如果 $\beta < 1$ 表示資金成本對船型具有規模經濟性；反之 ($\beta > 1$)，則具規模不經濟性； γ 則是資金成本 (C_{ci}^y) 對船速的彈性。至於 β 與 γ 值，則隨船型/船速不同而有別。本研究其他各項成本，如營運成本、燃油成本，及碇泊成本，相對於船型及/或船速迴歸式亦可類推建立。

3.4.1 資金成本與船型和船速

此部份引用國際貨櫃化期刊 (CI, 1999,01~2002,12) 在四年間共有 84 筆新造貨櫃船的訂船資料，以線性對數模式，分析資金成本與船速和船型之相關性，資金成本以當期新船之價格，以淨現值每年提列方式估算，估算採用 CRF (Capital Recovery Factor) 法，計算式 $CRF = [r(1+r)^n] / [(1+r)^n - 1]$ ，其中 r 是年利率， n 是資本財使用年限，假定以一年期計算，當 $n = 30$ ， $r = 5\%$ ，則 $CRF = 0.065$ ，如果當年貨櫃船購買價為 C ，則每年資金成本等於 $CRF \times$ 購船成本，此值 (即 $0.065C$) 是每艘船的每年資金成本 (參見 Viton, 1981)。本研究假設貨櫃船使用年限為 20 年，利率水準 5%，以估算 CRF 值提列每年資金成本，經迴歸式配適度檢測，結果為： $\ln C_{ci}^y = -3.170 + 0.582 \ln S_i + 0.571 \ln V_i$ ，此相當於：

$$C_{ci}^y = e^{-3.170} S_i^{0.582} V_i^{0.571} \quad (3-7)$$

迴歸式 $R^2 = 0.933$ ， $F = 729.159$ ， $P < 0.001$ ，可知此迴歸模式顯著。從式 (3-7) 知，資金成本 (C_{ci}^y) 對船型 (S_i) 的彈性為 0.582，即當船速 (V_i) 固定時，船型每變動 1%，資金成本將變動 0.582%，同理，資金成本對船速的彈性為 0.571。可見購買新船的資金成本，不論是對船型或船速均具有規模經濟性。

如果只考慮船型與資金成本的關係，則迴歸式為 $C_{ci}^y = -2.294 S_i^{0.682}$ ，資金成本對船型的彈性為 0.682 (< 1)，表示資金成本對船型具有規模經濟性，如圖 (3-1)； R^2 略低些 (0.685)，表示此式解釋能力稍嫌不足。但此與過去研究結果接近，落在 0.6~0.79 之間 (Jasson and Shneerson, 1987; Cullinane and Khanna, 1998)。

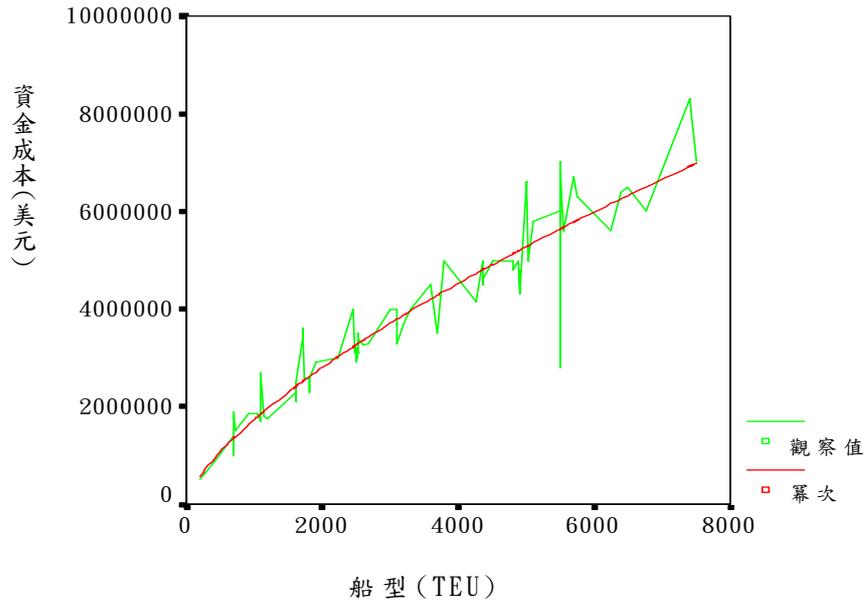


圖 3-1 資金成本與船型關係圖

若只分析船速與資金成本的關係，則迴歸式如下： $C_{ci}^y = -8.135V_i^{3.71}$ ，可知資金成本對船速的彈性為 3.710 (>1)， $R^2 = 0.847$ ，表示資金成本對船速不具規模經濟性，如圖 (3-2)，即船速較快的貨櫃船，基本上造價會較高，且船舶價格增加幅度是隨船速增加，而呈現遞增現象。此結果這與式 (3-7) 分析有差異，推測其原因應是目前新造貨櫃船之船型增加的幅度 (對資金成本效果)，遠超過船速增加的幅度，以致於船型規模經濟性掩蓋了船速規模不經濟。

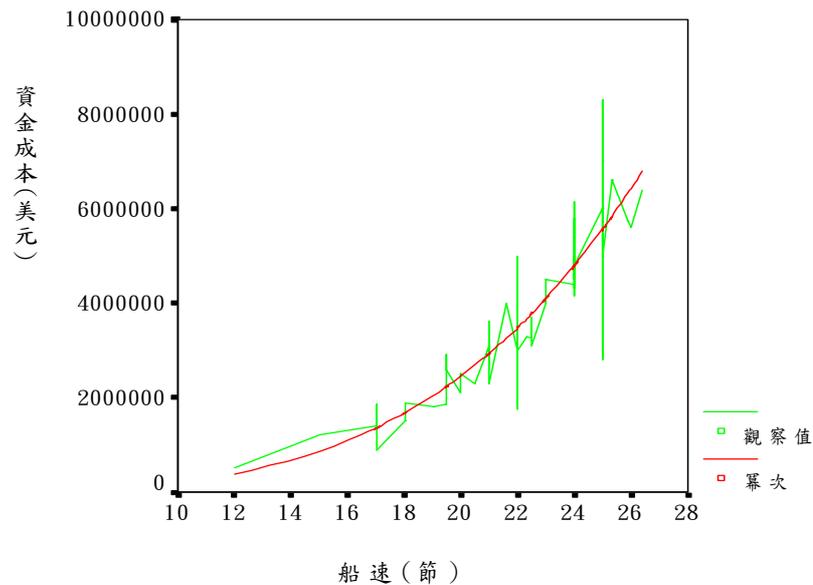


圖 3-2 資金成本與船速關係圖

3.4.2 燃油成本與船型和船速

燃油成本 (bunker price) 與船速和船型的相關性分析，以國際貨櫃化期刊(CI, 2001,01~2002,12) 公佈的 457 艘貨櫃船的耗油量為基準。其中潤滑油 (lubricating oil) 僅占燃油成本的 3%，一般是忽略此項的費用 (如 Jasson and Shneerson, 1987; Cullinane and Khanna, 1998)。本研究假設燃油價格是 170 美元/每噸，經統計配適度分析，得到迴歸式是： $\ln C_{fi} = -0.462 + 0.481 \ln S_i + 1.781 \ln V_i$ ，此式相當於下式：

$$C_{fi} = e^{-0.462} S_i^{0.481} V_i^{1.781} \quad (3-8)$$

迴歸式 $R^2 = 0.921$, $F = 5781.589$, $P < 0.001$ ，得知此迴歸模式具統計顯著。從式(3-8) 知，燃料成本 (C_{fi}) 對船型 (S_i) 的彈性為 0.481，在船速 (V_i) 固定時，船型變動 1%，燃料成本將變動 0.481%，同理，燃料成本對船速的彈性為 1.781 (>1)。因此，燃料成本對船型具有規模經濟性，對船速則不具規模經濟性。

若只考慮船型與燃料成本的關係，其迴歸式為 $C_{fi} = 9.135S_i^{0.918}$ ， $p < 0.001$ ，即燃料成本對船型的彈性為 0.918；且 R^2 值 0.892，此迴歸式解釋性高。表示出燃油成本對船型具有規模經濟性，此符合實際狀況，如圖 (3-3)。此與過去研究結果接近，彈性值落在 0.6~1.0 之間。

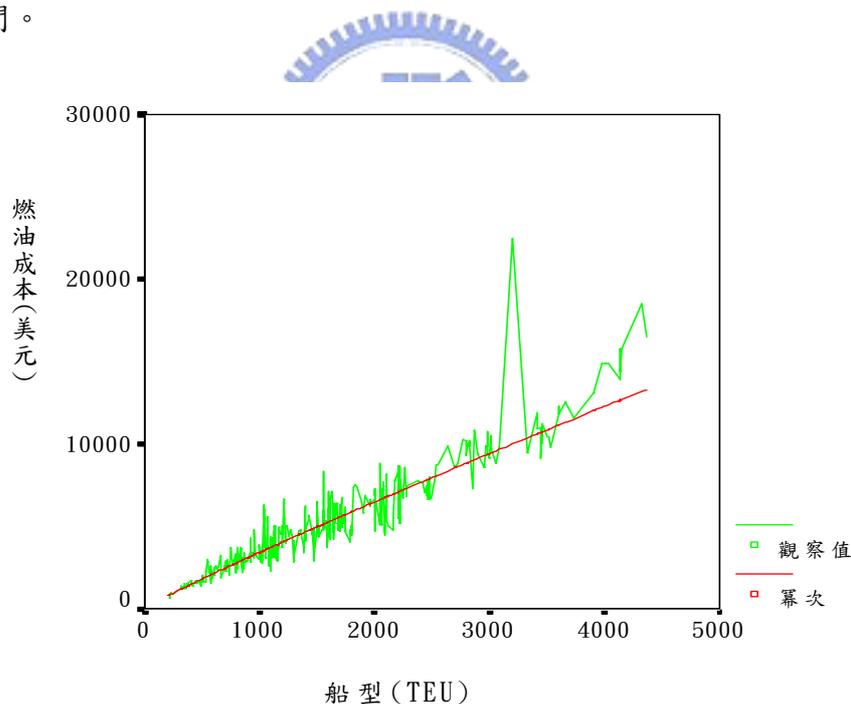


圖 3-3 燃油成本與船型關係圖

若只分析船速與燃料成本的關係，其迴歸式為 $C_{fi} = 0.084V_i^{3.621}$ ， $p < 0.001$ ，可知燃料成本對船速的彈性為 3.621 (>1)， $R^2 = 0.900$ ，此迴歸式解釋性高。由此看來燃油成本對船速不具有規模經濟性，符合預期結果，也符合一般之機械原理，如圖 (3-4)。

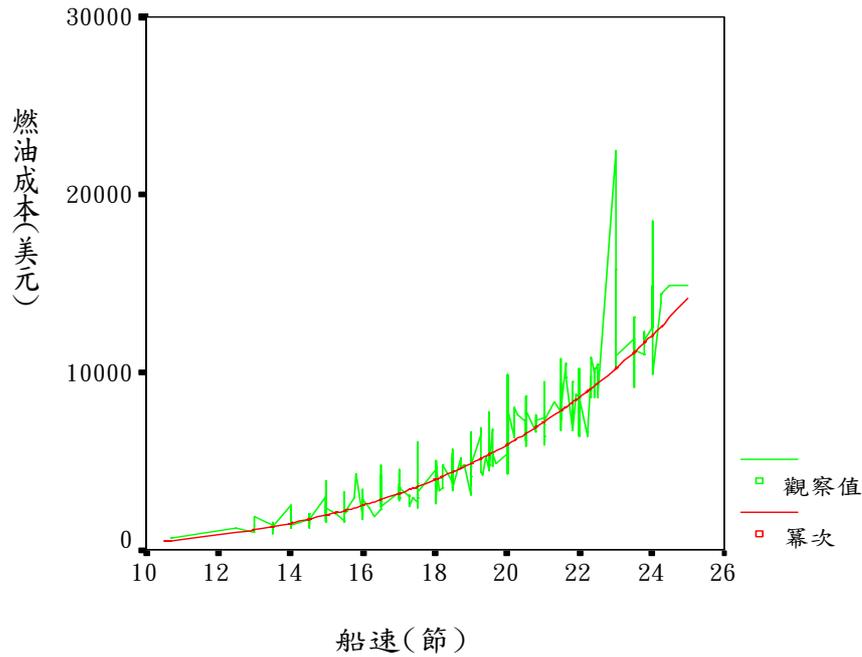


圖 3-4 燃油成本與船速關係圖

3.4.3 營運成本與船型和船速

不同航商有不同的營運成本比例，且此項成本具商業敏感性，因此不易取得航商之實際資料，過去研究亦有類似問題 (Cullinane and Khanna, 1999; Lim, 1994)。本研究以間接方式估算此項成本，根據 Buxton (1985) 對貨櫃船的成本結構分析，指出一年的船員薪資與福利占營運成本約 40%、船舶維修費占 30%、船舶保險費占 20%，及物料費占 10%，而年營運成本占總成本約 10%，年資金成本占總成本約 13%。另 LSE (2002) 分析中指出年船員薪資占營運成本約 37~49%、船舶維修費約 20~30%，及船舶保險約 15~25%。比較 LSE (2002) 所述之各項平均值與 Buxton (1985) 的結果接近，而行政費與船型和船速相關微小，可視為定值，即彈性為零。因此，本研究參考 Buxton (1985) 的分析值作為營運成本估算之基準。做法上，先將國際貨櫃化期刊 (CI, 1999,01~2002,12) 中 84 筆貨櫃船的新船價格，提列出每年資金成本，再按比例換算出年營運成本。此項成本與船型和船速之關係，經迴歸分析，結果得出： $\ln C_{pi}^y = 8.461 + 0.603 \ln S_i + 0.506 \ln V_i$ ，此式相當於：

$$C_{pi}^y = e^{8.461} S_i^{0.603} V_i^{0.506} \quad (3-9)$$

其中 $R^2 = 0.902$ ， $F = 499.526$ ， $P < 0.001$ ，得知此迴歸模式具統計顯著。從式 (3-9) 知，營運成本 (C_{pi}^y) 對船型 (S_i) 的彈性為 0.603，在船速 (V_i) 固定時，船型每變動 1%，營

運成本將變動 0.603%，同理，營運成本對船速的彈性為 0.506。因此，營運成本不論是對船型或船速均具有規模經濟性。

若只考慮船型與營運成本，則其迴歸式為 $C_{pi}^y = 7.102S_i^{0.690}$ ， $P < 0.001$ ，得知營運成本對船型的彈性為 0.69，表示營運成本對船型具有規模經濟性，如圖 (3-5)。此結果與過去研究相近，彈性值落在 0.3~0.6 之間，上式 $R^2 = 0.930$ ，說明此迴歸式亦具有解釋能力。

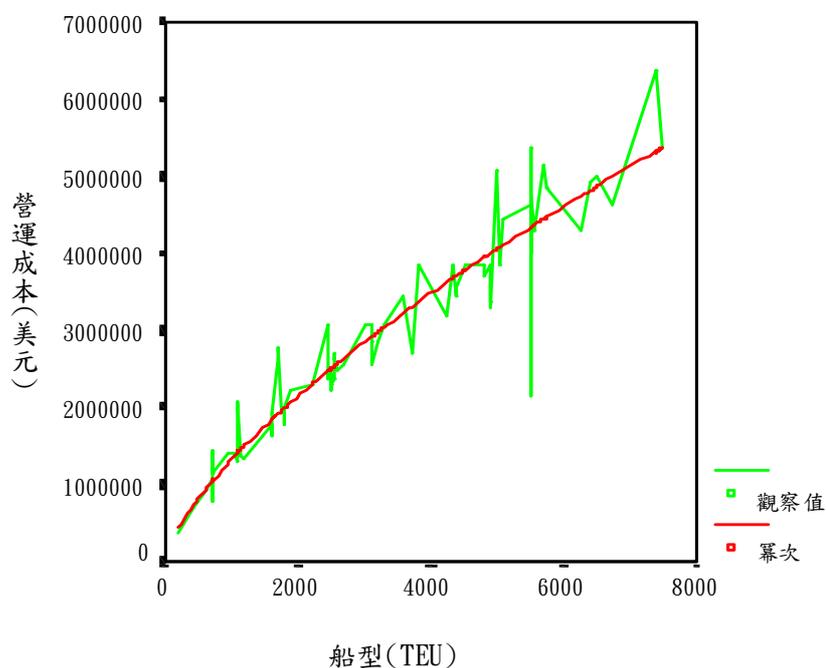


圖 3-5 營運成本與船型關係圖

若只分析船速與營運成本，則其迴歸式為 $C_{pi}^y = 6.354V_i^{3.652}$ ， $p < 0.001$ ，得知營運成本對船速的彈性約為 3.652，即營運成本對船速不具有規模經濟性，如圖(3-6)，其中 $R^2 = 0.861$ ，表示模式具備解釋能力。此結果與式 (3-9) 不符，推測是因為新造船型增加的幅度，遠大於船速增加的幅度，原因同於之前所述。

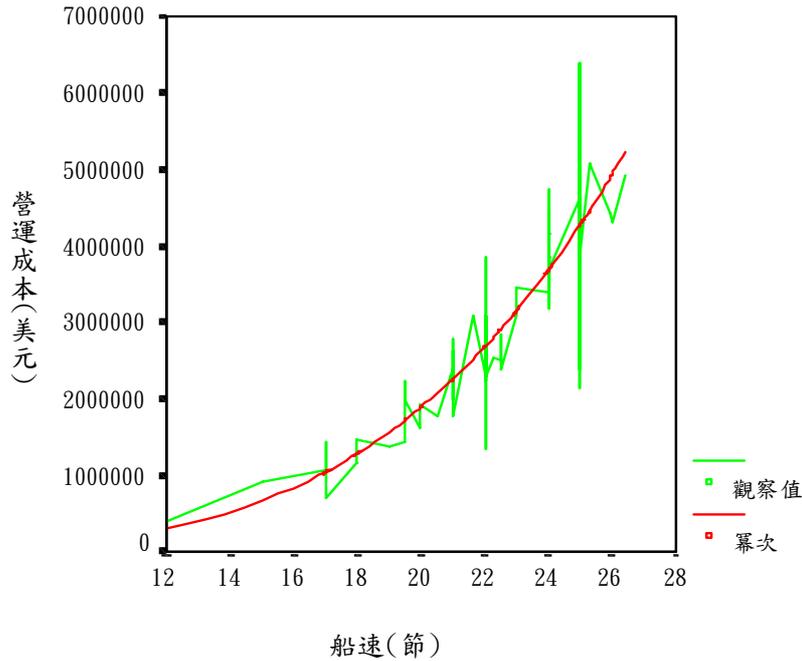


圖 3-6 營運成本與船速關係圖

3.4.4 碇泊費用與船型

港口費用以碇泊費為代表，其餘如領港費、拖船費，及入港費等與船型的變異低 (Cullinane and Khanna, 1999)，可不考慮。本研究中，除東京港的港口費用略高外，其餘港口之碇泊費用差異不大，如果船型超過 6,000 TEU 以上，各港之碇泊費就不再增加，則此項費用即為無差異成本。此碇泊費分析，選用高雄港為基準，因碇泊費只和船型有關，此項迴歸式只有船型一種變數，其迴歸式為：

$$C_{wi}^k = 23.9517 S_i^{0.582} \quad (3-10)$$

其中 $R^2 = 0.943$ ， $F = 83.34$ ， $P < 0.001$ ，表示此式具統計顯著。碇泊成本對船型的彈性為 0.582，表示船型變動 1%，碇泊成本將變動 0.582%，因此，碇泊成本對船型具有規模經濟性。綜合此節迴歸分析，整理出成本項目對船速和船型之迴歸式彈性值，如表 (3-1) 所列，與過去的研究相近。

表 3-1 主要成本與船型和船速迴歸式之彈性值

變數/成本項目	資金成本	燃油成本	營運成本	碇泊費用
船型(β)	0.582	0.481	0.603	0.582
船速(γ)	0.571	1.79(>1)	0.506	--

將迴歸式 (3-6)~(3-10)，代入原模式 (3-1) 內，整理化簡後，得出新式 (3-11)，此模式是包括船型與船速的數學規劃式，對應的最大利潤值會是嚴格凸向上的函數圖形 (strictly concave function)，表示全域最佳解存在而且唯一。因此，在研究假設下，最適船型問題的數學規劃模式，主要在求解沒有限制式、非線性函數之最佳解，及目標函數對應之最大值。

$$\begin{aligned} \pi = \underset{(v,s)}{\text{Max}} f(V_i, S_i) &= \underset{(v,s)}{\text{Max}} f(R_i^y - C_i^y) \\ &= \left\{ \left[\frac{8640N_i^k V_i}{(K_n N_i^k V_i + 2(L_a + L_b)S_i V_i + 2N_i^k D)} \right] \right. \\ &\quad \left. \times [(F_{ab} \times L_a \times S_i) + (F_{ba} \times L_b \times S_i)] \right. \\ &\quad \left. \left[e^{-3.170} S_i^{0.582} V_i^{0.571} \right] + \left[e^{8.461} S_i^{0.603} V_i^{0.506} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{23.951 S_i^{0.582} (720(L_a + L_b)S_i V_i + 360K_n N_i^k V_i)}{(K_n N_i^k V_i + 2(L_a + L_b)S_i V_i + 2N_i^k D)} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{e^{-0.462} S_i^{0.481} V_i^{1.79} (720N_i^k D_i)}{(K_n N_i^k V_i + 2(L_a + L_b)S_i V_i + 2N_i^k D)} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[\frac{(L_a + L_b)(O_i^a + O_i^b)S_i (8640N_i^k V_i)}{(K_n N_i^k V_i + 2(L_a + L_b)S_i V_i + 2N_i^k D)} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3-11)$$

3.5 小結

1. 過去文獻對最適船型問題的探討，皆以成本面為分析基礎，同時也忽略船速的快慢對航線經營的影響，以致無法提供較完整的最適船型分析。本章以成本-數量-利潤分析法，分析最適船型問題，目的在改善過去研究上的缺點，本模式納入船速考量，藉由營運收入和營運成本作為評量依據，決策出航線上最適貨櫃船型。
2. 本章模式估出船型與船速對成本項目的彈性係數，反應出船型與船速存在不同特性。此項差異的發現將是本模式特別的之處，以往的文獻也未曾提到此，而此現象是否仍意味，在市場需求滿足下，船速愈快，對利潤愈有利？船速的問題及影響性，將是模式分析的重點。
3. 本章模式設計目的，在於釐清船型與船速對航行利潤的影響性。因此，模式特性是雙決策變數，沒有限制式，目標值為嚴格凸向上函數，表示函數有唯一的全域最佳解。經由此函數的特性，本模式適合分析船型或船速單變數，且能觀察兩變數的同時改變，對目標值的影響及其程度。因此，觀察船型發展的空間，將是模式分析的另一重點。
4. 為清楚地分析問題，本章模式以單一貨櫃船航行於固定航線為範圍下，進行變數特性與經濟效益的相關分析。因此，最適船型模式仍有延伸的研究空間，首先，此模式可加入航行頻次與靠港數量的限制，以同時顧及到航商與託運人的運送成本。其次，可考慮以整個船隊規模的分析，包括貨櫃船數量的限制。

第四章 最適船型與船速模式之應用與測試

過去文獻著重以成本角度分析經濟船型 (Jasson and Shneerson, 1982, 1985; Tally, 1990)，而視船速為固定值，單純以船型追求單位成本最小化，此分析角度並不能保證獲得最大利潤。本文模式以成本-數量-利潤分析法 (CVP)，增船速變數，分析最適船型，應較能符合問題特性與航商目標。本章內容分四部份，4.1 節利潤最大化模式求解，分別在船型與船速固定下，求解函數最大值；4.2 節投資報酬率模式求解，則以相同投資期限，分別在船型與船速固定下，求解最大投資報酬率的貨櫃船型與船速；4.3 節敏感度分析，觀察當承載率、碼頭工時、港口、燃油價格變動時，對函數之目標值及船速與船型的改變程度；4.4 節小結。

4.1 利潤最大化模式求解

本章以高雄至洛杉磯航線為實例，進行模式 (3-1, 3-11) 測試，說明結果與應用，及進行敏感度分析，以檢定模式穩定度。高雄-洛杉磯航線基本資料，如表 (4-1) 所示。根據前面的分析 (第三章)，本節先討論利潤部份，分析不同船型與船速的經濟效益，以貨櫃船實際航行狀況，給定船型和船速適當的範圍，求解目標函數最佳解，及分析不同船型與船速對應之最大值。模式求解分兩階段進行，第一階段在船型與船速不固定下，求算函數最佳解，第二階段分別在船型與船速固定下，求算函數對應之最大值。

表 4-1 高雄-洛杉磯航線基本資料

項目/港口	高雄	洛杉磯
航線距離	7,318 哩	
燃油價格	\$ 170/噸	
碼頭工時	24 小時/天	
工作天數	360 天/年	
承載率	90%	50%
每櫃運費	\$ 1,120/TEU	\$ 500/TEU
貨櫃裝卸費	\$ 96/TEU	\$ 105/TEU
貨櫃裝卸率	27 TEU/時	25 TEU/時

(資料來源：本研究整理)

首先，給定貨櫃船型於 1,000~16,000 TEU 之間，船速在 10~36 節範圍內，以高雄與洛杉磯之航線資料測試，經 Mathematica 4.0 軟體求解式 (11)，初步目標值如下：當船型 $S_i=16,000$ TEU，船速 $V_i=24$ 節時，得到最佳解是 37,534,700，美元，此值是貨櫃船在該航線上每年可獲得的最大利潤 (USD)。

其次，在最適船型 $S_i=16,000$ 固定下，討論不同船速對應的最大值變化程度，表 (4-2) 顯示當船型固定時，最大利潤值會隨船速增加而先增後減，船速在 10 到 12 節，利潤增加的幅度最大，之後漸漸趨緩，在 26~34 節左右，利潤變化量不到 1%，超過 24 節時，利潤開始出現遞減，之後遞減幅度漸大。圖 (4-1) 看出在船型固定下，最大利潤值隨船速增加而移動的曲線，船速在 24 節以內，最大值會隨船速增加而遞增，超過此速度，則最大利潤值隨船速增加而遞減。

表 4-2 船型固定下之最大利潤與其對應船速

船型(TEU)	船速(節)	最大利潤(美元)	利潤增減量	利潤變動(%)
16,000	10	31,605,400	--	--
16,000	12	33,572,800	1,967,400	62.24%
16,000	14	34,992,800	1,420,000	42.29%
16,000	16	36,004,500	1,011,700	28.91%
16,000	18	36,704,500	700,000	19.44%
16,000	20	37,161,400	456,900	12.49%
16,000	22	37,425,600	264,200	7.11%
16,000	24	37,534,700	92,000	2.46%
16,000	26	37,517,600	-17,100	-0.46%
16,000	28	37,396,400	-121,200	-0.32%
16,000	30	37,188,700	-207,700	-0.55%
16,000	32	36,908,300	-280,440	-0.75%
16,000	34	36,566,500	-341,800	-0.93%
16,000	36	36,172,400	-394,100	-1.78%

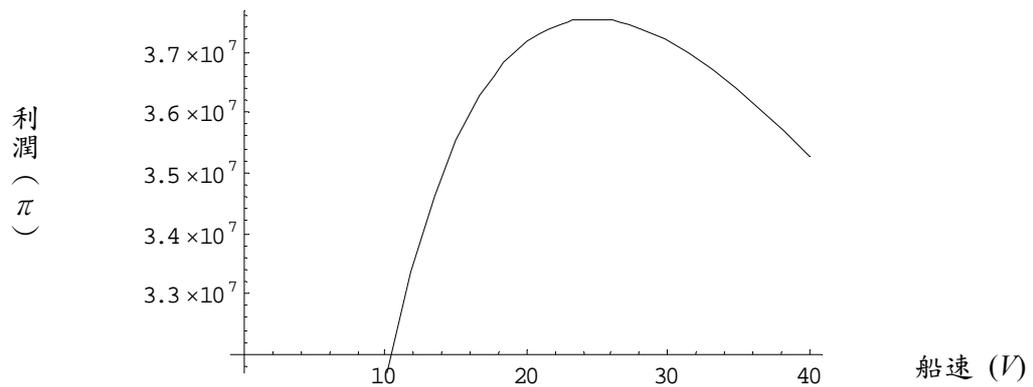


圖 4-1 船型固定下之最大利潤值與對應船速之變化圖

接著，在最適船速 $V_i=24$ 節固定下，觀察其對應不同船型的最大利潤值，表 (4-3) 顯示在船速固定下，最大利潤值會隨船型增加而遞增，船型在 1,000~4,000 TEU 之間，利潤值遞增幅度最大，船型大於 4,000TEU 以後，利潤值的增加，幅度趨緩，當船型在 10,000~16,000 TEU 範圍時，利潤值的增加在 10%以內。圖 (4-2) 顯示在船速固定下，最大利潤值是隨船型的增加而往上遞增，最後是漸漸趨向平坦。

表 4-3 船速固定下之最大利潤與其對應船型

船速(節)	船型(TEU)	最大利潤(美元)	利潤增量	利潤變動(%)
24	1,000	5,791,960	--	--
24	2,000	12,192,500	6,400,540	110.5%
24	4,000	21,214,000	9,021,500	73.91%
24	6,000	26,965,100	5,751,100	27.11%
24	8,000	30,801,700	3,836,600	14.23%
24	10,000	33,444,800	2,643,100	8.59%
24	12,000	35,300,400	1,855,600	5.55%
24	14,000	36,612,200	1,311,800	3.72%
24	16,000	37,534,700	922,500	2.52%

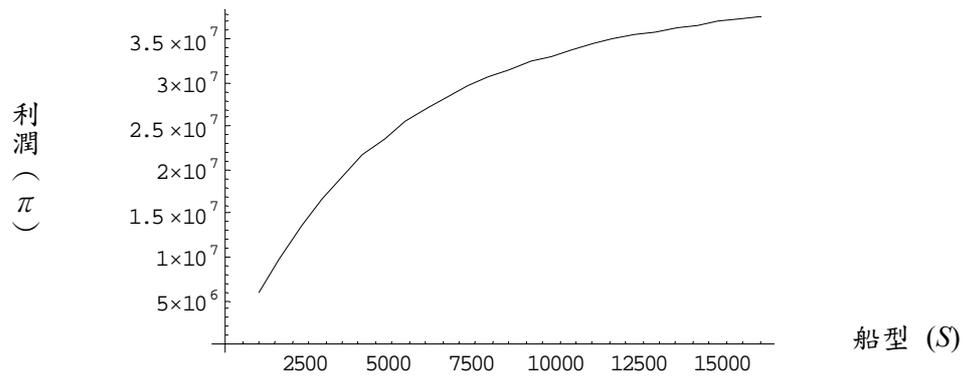


圖 4-2 船速固定下之最大利潤值與對應船型之變化圖

圖 (4-3) 是利潤模式的三維函數圖，此圖存在全域唯一解，亦即圖形在座標 $(S_i=16,000, V_i=24)$ 處的最高點。在給定座標範圍內，此點 (目標值) 的移動方向，隨著 s 座標值的增加而往圖形的左上方增高，直到 s 座標的界限止。然而，與 s 的情況不同，此點會隨著 v 座標值的增加，先往圖形上方移動增高，直到臨界值，然後隨著 v 座標值的增加而往下方移動降低。臨界值是指船型與船速的最高點，如離開此點，船速每增加一節 (knot) 對利潤的邊際遞減，會抵消船型增加 1,000 TEU 對利潤的邊際遞增。換句話說，24 節以上的船速就不容易為貨櫃船創造邊際利潤了。從上述文中之迴歸分析中，不難推測出這個理由，燃油價格對船速的規模不經濟，應是主要原因之一，本文後段的分析可支持此推論。圖 (4-4) 是以等高線描繪此函數，從上俯下看，圖形較亮之處表示較接近目標值，暗處則反之。靠右方中間較亮處，則是函數利潤最大的附近區域，與圖 (4-3) 最高點的座標位置相同。

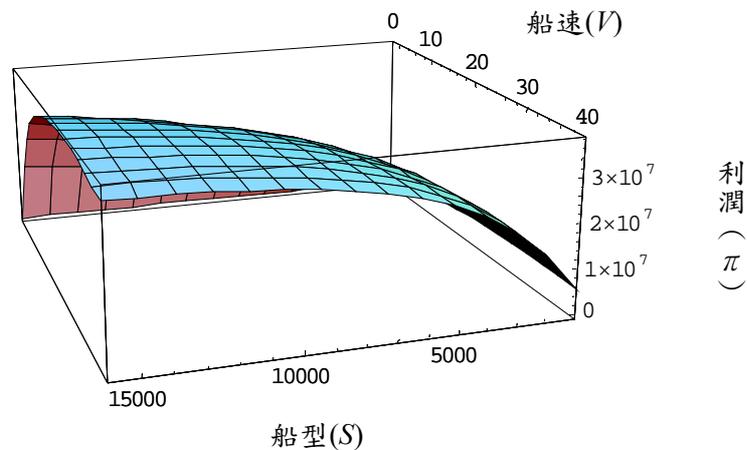


圖 4-3 包含船型與船速兩個變數之利潤值函數圖

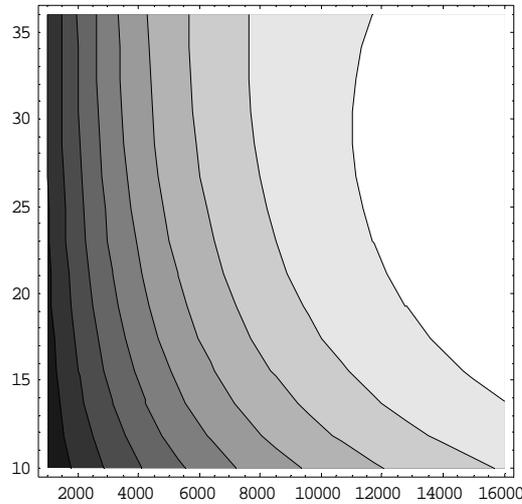


圖 4-4 利潤函數相對於船型與船速之等高線圖

(註：1.橫軸為船型 (TEU)，縱軸為船速 (Knot)。2.較亮的部份代表利潤較高，較暗則較低。)

4.2 投資報酬率模式求解

企業普遍以投資報酬率來評估經營優劣並決定投資方向，投資報酬率係指報酬與資金投入之間的關係，其高低決定於每元銷貨收入可產生的利潤。亦即，如以 A 表示投資報酬率，則 $A = (\text{報酬}/\text{投資}) \times 100\%$ ，而「報酬」與「投資」常依分析目的不同而有不同定義。為簡單性，本研究報酬指利潤(π)，投資則為購買新船之資金(C_{ci})，因此投資報酬率可表示如下式：

$$A = (\pi \div C_{ci}) \times 100\% \quad (4-1)$$

式 (4-1) 中購買新船之資金，則以相同資料 (CI, 1999,01~2002,12) 建立船型與船速之迴歸式，其結果為： $C_{ci} = e^{11.249} S_i^{0.603} V_i^{0.506}$ ，其中 $R^2 = 0.930$ ， $F=721.159$ ， $p<0.001$ ，表示此迴歸式具統計顯著。

本節以投資報酬率角度，在相同期限內，分析航商最適的訂購船型之投資決策。本節在給定模式相同的限制條件，求解目標式 (4-1) 之最佳解，及不同船型與船速對應下之最大值。此模式亦分兩階段討論：首先，在船型與船速不固定下，求算函數最佳解。其次，分別在船型與船速固定下，求算函數對應之最大值。以相同資料，貨櫃船型於 1,000~16,000TEU 之間，船速在 10~36 節範圍內，求解模式最高投資報酬率，初步結果是：當貨櫃船型 $S_i=6,000$ TEU，船速 $V_i=16$ 節時，出現最高投資報酬率為 42.34%。

表 4-4 船型固定下的最高投資報酬率與其對應之船速

船型(TEU)	船速(節)	最高投資報酬率	報酬率變動
6,000	12	41.93%	--
6,000	14	42.31%	0.38%
6,000	16	42.34%	0.03%
6,000	18	42.13%	-0.21%
6,000	20	41.74%	-0.39%
6,000	22	41.23%	-0.51%
6,000	24	40.64%	-0.59%
6,000	26	39.96%	-0.68%
6,000	28	39.24%	-0.72%
6,000	30	38.48%	-0.76%
6,000	32	37.70%	-0.78%

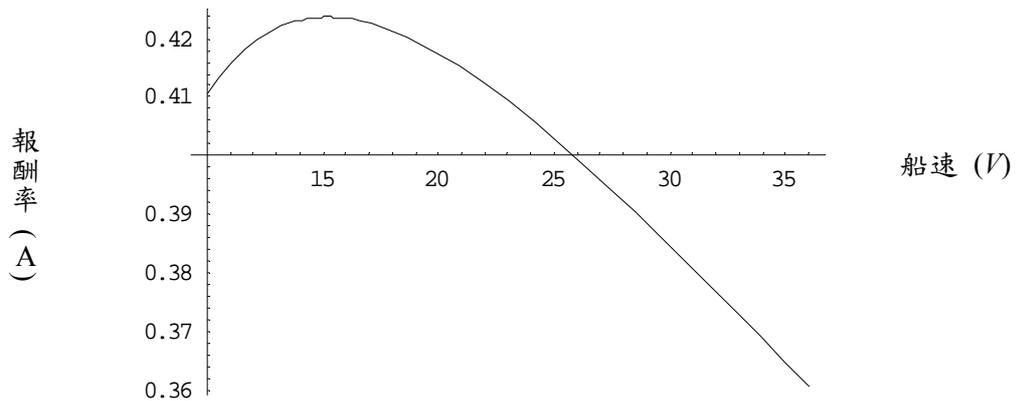


圖 4-5 船型固定下之最高投資報酬率與對應船速之變化圖

其次，在最適船型 $S_i = 6,000$ 下，討論不同船速下，最高投資報酬率的改變程度，求解結果如表 (4-4)。當船型固定時，最大利潤值會隨船速增加而先增後減，船速在 16~18 節左右，投資報酬率最高，在 20 節以後，投資報酬率開始遞減。圖 (4-5) 看出在船型固定下，最高投資報酬率隨船速變動而移動的分佈曲線。船速在 16 節以內，最高投資

報酬率隨船速增加而遞增，超過此速度，則最高投資報酬率隨船速增加而遞減。接著，在最適船速 $V_i=16$ 節固定下，觀察其對應不同船型下的最高投資報酬率，求解結果如表 (4-5)。在船速固定下，最高投資報酬率隨船型增加而先增後減，船型在 1,000~4,000 TEU 之間，最高投資報酬率遞增幅度最大，船型在 4,000~8,000 TEU 範圍時，最高投資報酬率僅微量增加，船型超過 8,000 TEU 以後，最高投資報酬率出現遞減。

表 4-5 船速固定下的最高投資報酬率與其對應之船型

船速(節)	船型(TEU)	最高投資報酬率	報酬率變動
16	1000	26.42%	--
16	2000	35.11%	8.69%
16	4000	41.15%	6.04%
16	6000	42.34%	1.19%
16	8000	41.88%	0.46%
16	10000	40.79%	-1.09%
16	12000	39.45%	-1.34%
16	14000	36.50%	-2.95%
16	16000	31.49%	-5.01%

圖 (4-6) 看出在船速固定下，最高投資報酬率隨船型的增加，開始往上快速遞增，接著出現反轉，最後漸漸往下遞減。對投資報酬率而言，船型與船速的經濟效性存在特定區間內。圖 (4-7) 是投資報酬率模式的三維函數圖，此圖在座標 ($S_i=6,000, V_i=16$) 處，出現最高的對應點。在給定座標範圍內，此點(投資報酬率)的移動是隨著 s 座標和 v 座標值增加，先往圖形上方移動增高，直到臨界值，接著往左下方移動降低，移動情形與圖 (4-3) 類似。但由於投資報酬率對船型的規模報酬出現在 6,000TEU 左右，因此，船速會提前反應規模不經濟。結果顯示當船速超過 16 節，就出現抵消船型的邊際利潤之效應。圖 (4-8) 是以等高線描繪此函數，靠右方中間較亮處，則是函數的投資報酬率最高的區域，與圖 (4-7) 最高點的座標位置相同。

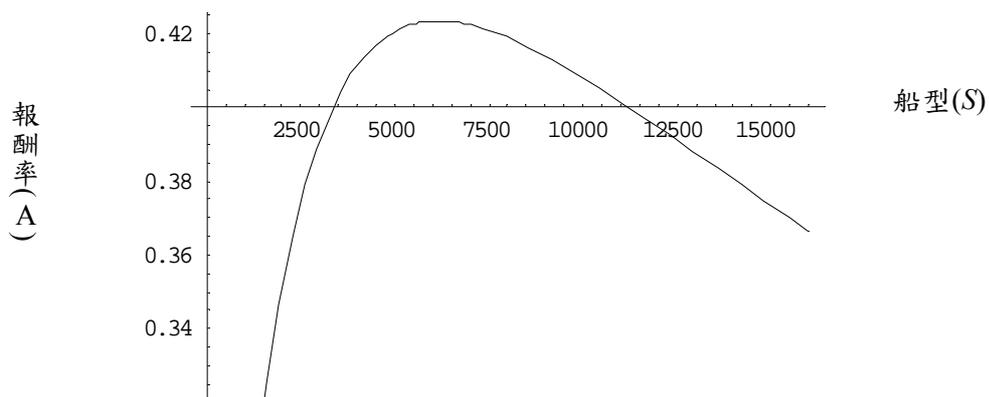


圖 4-6 船速固定下之最高投資報酬率與對應船型之變化圖

綜合本節的分析結果，初步發現下列幾點：(1) 利潤最大值隨船型增大而增加，但幅度漸漸趨緩；(2) 利潤最大值隨船速增加而先增後減；(3) 最高投資報酬率隨船型增加而先增後減；(4) 最高投資報酬率隨船速增加而先增後減。在相同船速下，大型貨櫃船的資金成本較小型船的高，使得航商在大型船的投资報酬率，較小型船的略低。高燃油價格是導致燃油成本對船速不具規模經濟的主因之一。

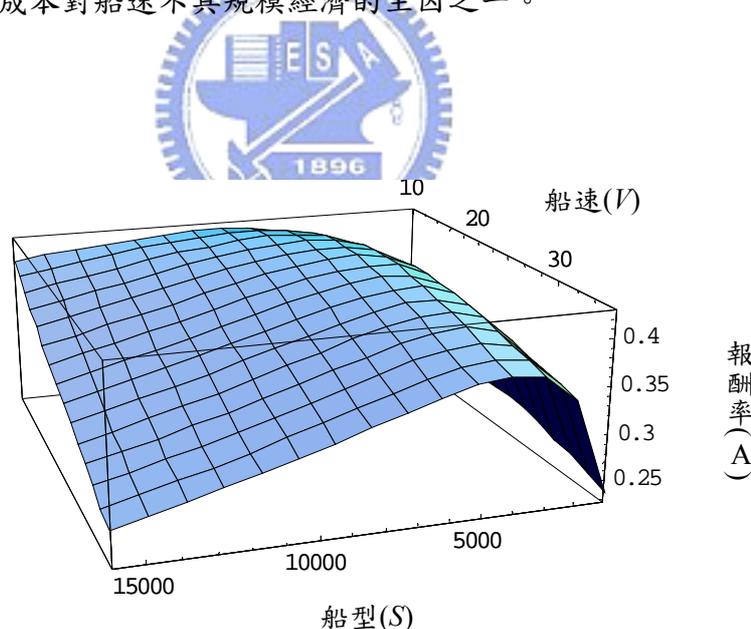


圖 4-7 包含船型與船速變數之投資報酬率函數圖

明顯地，船型在規模經濟上的特性，仍是創造利潤最大的有利因素，在模式限制範圍內，船型在 16,000 TEU 出現最大利潤值。而放鬆船速固定值之假設，經實例測試結果，可得出船速並不是愈快愈有利，在 24 節左右是最具有邊際利潤的船速，亦即船速的抵換效果是邊際成本等於邊際收入，能貢獻最多利潤，此時如果速度再增快或減慢，皆不利於利潤。

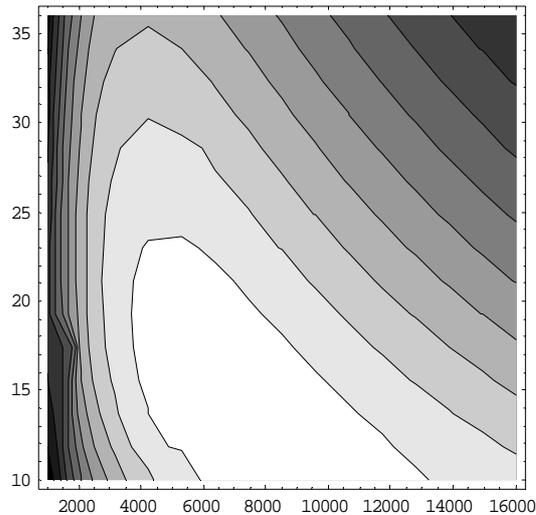


圖 4-8 最高投資報酬率函數相對於船型與船速之等高線圖

(註：1.橫軸為船型 (TEU)，縱軸為船速 (Knot)。2.較亮的部份代表投資報酬率較高，較暗則較低。)

4.3 敏感度分析

接下來的分析是想瞭解貨櫃船的經濟船型與船速，是否因利潤函數某些項目受到參數變動而變動，前文模式 (11) 內考慮相關因素有運費、貨櫃承載率、航行次數、碼頭工時、港口距離、港口裝卸費、裝卸率，及燃油價格等。在本文中，我們假設市場運輸需求可滿足，且所有航商都是市場價格的追隨者 (followers)，亦即航線上的運價及運量的變動，是由市場上的供需機能決定的，而不是個別航商所能主宰，此點與國際定期船市場的特性一致，亦是所有文獻探討“最適船型”的基本假設。關於市場運價 (price) 與運量 (quantity) 的互動問題，屬於運輸需求 (demand) 的分析層次，不包括在本文的討論範圍內。

4.3.1 承載率變動分析

本文所探討的最適船型與船速，是假設航線上之貨櫃承載率是固定的，現在調整承載率，觀察其變動後對目標最大值與對應值的影響，求解結果如表 (4-6)。從這表可看出如果市場運量減少，無法滿足大型船的艙位需求、承載率降低，此時單位平均成本提高，以致利潤會減少。在追求最大利潤目標下，模式調整小船型來配合市場流量的改變，以提高承載率、降低單位平均成本，同時配合航速，增加航行次數、增加收入。表 (4-6) 顯示出其他條件不改變下，當航線的承載率低時，則最大利潤會下滑，這時決策傾向小型船、航速快的趨勢。

表 4-6 高雄-東京承載率之敏感度分析

承載率	船型(TEU)	船型增加	船速(knot)	船速減少	利潤(美元)
0.9	6,998	--	20.61	--	15,442,000
0.8	7,416	5.63%	19.71	-6.57%	14,493,900
0.7	7,709	5.89%	18.34	-6.64%	13,469,500
0.6	8,016	5.95%	17.60	-6.67%	12,296,100
0.5	8,237	6.18%	15.97	-6.70%	11,247,800

4.3.2 碼頭工時變動分析

一般而言，貨櫃船的滯港時間包括三個時段：(1) 入港前置時間：指船舶進港到繫好纜繩後，到貨櫃車靠船邊作業之等待時間。(2) 港口作業時間：從貨櫃裝卸動作開始，直到裝卸動作完畢後，所耗費的時間，此段時間視貨櫃數目而定。(3) 出港準備時間：貨櫃裝卸作業完畢後，到船舶出港前，開航前準備的時間。入港前置時間和出港準備時間，可能隨停靠港口的大小、擁塞而不同，會影響到貨櫃船的年航行次數，但這兩段時間與船舶、船速的關係不大，可視為定值處理，在模式 (5) 中以常數項 (K_n) 表示之。而貨櫃船的貨櫃裝櫃和卸櫃時間，兩者相差不大。

目前貨櫃港除了工人換班及機具保養時間外，皆能配合碇泊費作業 (例如高雄港)。本研究參考文獻上 Tally (1990)、Cullinane and Khanna (1998) 等人的研究，港口作業時間以 24 小時為基準，再減少碼頭工時，觀察此對最適船型模式的影響。表 (4-7) 顯示假設其他條件不改變，當碼頭工時較短，貨櫃船的靠港時間長，此時最適船型不變、船速略慢，利潤會減少，這項結果與市場實際情形相當符合。

表 4-7 高雄-洛杉磯每日碼頭工時之敏感度分析

碼頭工時/每日	船型(TEU)	船速(knot)	利潤(美元)
18 小時	16,000	19	23,825,300
20 小時	16,000	22	28,297,400
22 小時	16,000	23	32,877,900
24 小時	16,000	24	37,534,700

4.3.3 港口變動分析

不同港口有不同裝卸費和裝卸效率與相對距離，本研究以東京、釜山、上海、香港，及洛杉磯港，觀察不同港口對模式最適解的影響，各港資料如表 (4-8)~(4-10)。假設其餘狀況皆與前實例相同，唯香港為世界港埠中貨櫃處理效率數一數二者，其每小時可處理高達 33 TEU，其餘港約為 25 TEU。

港口距離變動對目標值的改變如表 (4-11) 所示，當兩港口距離增加，則最適船型和利潤增加，而船速略增。最適船型和船速對港口距離具敏感性，但效果不一。圖 (4-9) 顯示最適船型隨港口距離增加而增加程度，大於船速的增加，如高雄-洛杉磯航段。港口航行距離對最適船型具有規模經濟，此結果與過去研究相似 (如 Jasson and Shneerson, 1985; Tally, 1990)。

表 (4-11) 出現高雄-香港的利潤變化和高雄-上海航線的船速變化，不隨港口距離一致，主要是因為香港裝卸效率高和上海港的裝卸費較低。因此，港埠裝卸費和裝卸效率高低對利潤的改變，會大於航行距離對利潤的影響，過去研究亦有類似的結果 (Hsieh and Wong, 2003)。航商在規劃貨櫃船隊的停靠港口，尤其是鄰近有相競港口時，裝卸費和裝卸效率將會是重要的參考因素之一。此部份可以港埠總體因素 (如效率/品質/成本等)，對最適船型的發展加以深入分析。

表 4-8 選定港口與高雄港的距離

港口	高雄-香港	高雄-上海	高雄-釜山	高雄-東京	高雄-洛杉磯
海上距離(哩)	365	522	916	1,394	7,318

(資料來源：本研究整理)

表 4-9 選定港口的貨櫃裝卸率與裝卸費

項目/港口	高雄	香港	上海	釜山	東京	洛杉磯
裝卸率(TEU/時)	30	33	25	25	25	25
裝卸費(美元/TEU)	96	108	72	120	175	105

(資料來源：本研究整理)

表 4-10 各港口之間的每櫃運價矩陣(美元/TEU)

起/迄	高雄	香港	上海	釜山	東京	洛杉磯
高雄	0	240	350	490	600	1,120
香港	380	0	420	550	630	1,160
上海	240	240	0	350	560	1,040
釜山	320	280	240	0	390	1,000
東京	350	340	320	240	0	950
洛杉磯	500	500	400	350	280	0

(資料來源：本研究整理)

表 4-11 港口距離之敏感度分析

項目/港口	高雄-香港	高雄-上海	高雄-釜山	高雄-東京	高雄-洛杉磯
船速(knot)	18.01	20.31	19.80	20.61	24.00
船型(TEU)	3,651	3,894	5,284	6,998	16,000
利潤(美元)	12,657,600	15,823,700	14,341,300	15,442,000	37,534,700

(資料來源：本研究整理)

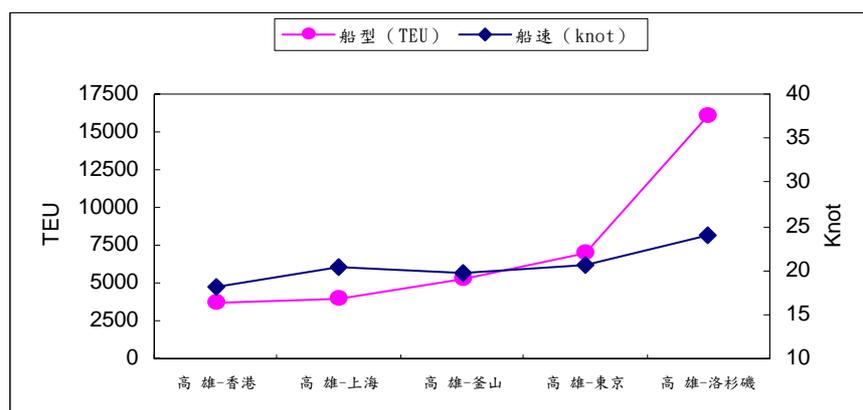


圖 4-9 不同港口距離與最適船型和船速之變化圖

4.3.4 燃油價格變動分析

本文前面發現燃油價格對船速不具規模經濟之特性，釐清船速愈快，利潤愈高的不當決策，因為此項因素會讓船速快時，出現成本高於收入的可能。本節進一步給定燃油

價格在 100~180 美元區間，觀察其對最大利潤值，及最適船型和船速的改變程度。表 (4-12) 顯示其他條件不變下，當燃油價格上漲，則最大利潤值減少，最適船型增加、船速減慢。此表示當燃油價格上漲時，船速的負面效應增加，以致模式反應出，船速減慢以緩衝成本增加，同時調整船型以降低成本，然而，油價效應仍大幅抵消船速及船型的調整作用。圖 (4-10) 顯示不同燃油價格下的最適船型和船速，燃油價格偏高可說明此結果 (圖 4)。國際原油價格應存有上漲的可能，此舉將使燃油價格提高成本比重，航商如何衡量船速與利潤之間的最適決策，值得再深入加以思量。

表 4-12 高雄-東京燃油價格之敏感度分析

油價/項目	船型(TEU)	船型增加	船速(knot)	船速減少	利潤(美元)
\$100/每噸	5,593	--	26.17	--	15,729,100
\$120/每噸	5,927	5.63%	24.45	-6.57%	15,651,500
\$140/每噸	6,299	5.89%	22.82	-6.64%	15,568,300
\$160/每噸	6,698	5.95%	21.30	-6.67%	15,484,100
\$180/每噸	7,140	6.18%	19.81	-6.70%	15,397,800

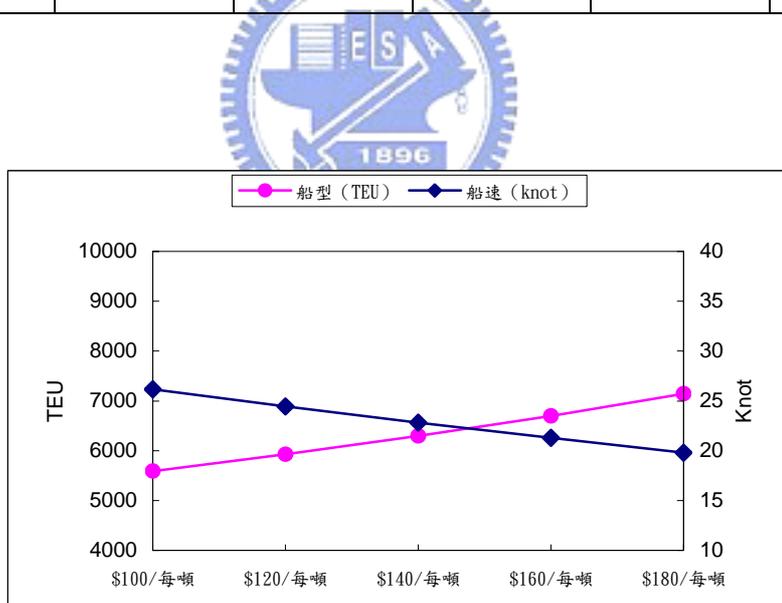


圖 4-10 不同燃油價格與最適船型和船速

4.4 小結

本章測試最適貨櫃船型模式 (3-1,3-11)，及投資報酬率模式 (4-1)，以瞭解模式對問題解決上的功效性及穩定性。本文以高雄至洛杉磯航線為例，在模式分析範圍內，給定港口距離、碼頭工時、裝卸費率、燃油價格、承載率、運價，及貨櫃船成本等參數，應用 Mathematica 4.0 軟體求解模式，並進行敏感度分析。在市場需求滿足條件下，依據實

例求解結果，本研究得到下列結論：

1. 在最大利潤目標下，貨櫃船提高航行速度，於規劃期限內，可增加航次、收入也增多，但未必能增加利潤和投資報酬率，主要關鍵在於，船速的抵換利益存有最適區間，在規模區間之外的船速，將導致貨櫃船的航行成本高過於收入，反而不利於航商；高造船成本使大型貨櫃船的投資報酬率，不如中型貨櫃船，而貨櫃船舶的大型化，能有益於利潤增加。
2. 除了受利潤因素外，最適船型和船速決策也受到其他因素改變。當市場運量減低時，最適船型傾向小、船速快，而獲得利潤減少；當碼頭工時減少時，最適船型不改變、船速略慢，獲得利潤會減少；當港埠效率或兩港距離增加時，最適船型傾向大、船速快，獲得利潤也增加；當燃油價格上漲時，最適船型傾向大、船速慢，獲得利潤減少。這些改變都不背離最適船型與船速的經濟特性。



第五章 單一指派非嚴格型海運軸輻路網模式

由第三章最適船型問題的結果顯示，大型貨櫃船仍將是遠洋航線的主流，此趨勢會改變傳統的貨櫃船航線型態。過去文獻（2.2 節）對航線規劃問題的研究，多著重在航線上的港口停靠順序之設計，甚少論及貨櫃船的大型化對港口、貨量需求，及接駁航線上的影響分析。因此，本章以軸心港為航線中心的研究角度，發展海運軸輻路網模式，以分析貨櫃船定期航線型態與設計的問題。本章內容分五節討論，5.1 節介紹海運軸輻路網的問題背景及緣由，5.2 節進行軸輻路網問題特性之分析，5.3 節模式假設條件；5.4 節數學模式之構建，說明模式內容；5.5 節說明折扣係數模式；5.6 節說明模式求解步驟；5.7 節小結，說明模式經濟意義。至於模式的實例應用，則在第六章說明測試的結果。

5.1 海運軸輻路網之問題背景

在海洋運輸上，從貨櫃化運輸興起後，貨櫃船運送漸漸取代傳統雜貨船，成為定期船運的主流。定期船指運送貨櫃或雜貨的船舶，依照規劃的航線與航班，定時往返航於固定的港口間。近幾年來，由於造船技術與港埠效率提升，及航商相互競爭，促使貨櫃船型朝向大型化發展趨勢，而世界級大航商將在 2007 年，各自有超大型貨櫃船加入營運，如 Maersk Sealand $6 \times 8,200$ TEU, $4 \times 9,200$ TEU; MSC $19 \times 8,000$ TEU, $13 \times 9,200$ TEU; PONL $10 \times 8,478$ TEU 等 (CI, 2005)。根據前章節 (4.4) 分析，貨櫃船大型化有益於航商利潤的增加；然而，從港口的角度來看，並非所有的港口都有足夠的水深及腹地、港埠設備供大型貨櫃船停靠與貨櫃裝卸。其次，以市場條件來看，並非所有港口的流量規模，皆足以發揮大型貨櫃船的規模經濟性。因此，隨著船舶大型化的發展，航商為能有效發揮大船效率，節省成本、創造利潤，勢必改變傳統單一航線的航行規劃，而選擇以運量、腹地較大的港口，作為大型船舶航行的停靠站。此趨勢演變使得貨櫃航線型態，發展出海運航線的主線與支線路網型態：利用子船，亦即小型集貨船，先將貨櫃集中到軸心港，由母船(大型貨櫃船)負責軸心港之間的貨櫃運送，再以集貨船進行區域性的轉運服務。

所謂海運主線與支線的路網型態，就是在航區的相鄰港埠群當中，母船僅選擇其中少數合適的大港作為停靠港，稱作軸心港 (hub ports)，而母船航行於航區軸心港之間，即稱為主線 (interhub service)。對軸心港臨近的小港而言，母船不停靠，故由集貨船進行集貨工作，貨櫃由此運至軸心港，這些小港就稱為集貨港 (feeder ports)，而集貨船航行於集貨港與軸心港之間，即稱支線 (feeder service)。這種主線與支線相互配合的經營方式，能夠發揮大型貨櫃船大量裝載的特性，降低單位貨櫃的運輸成本，而軸心港口作業較快速，能增加大型貨櫃船在主線的服務航次，而達到規模經濟的效果，為航商創造利潤。

在航空運輸方面也有類似的發展，從 1978 年美國解除航空管制後，逐漸形成以空運中心為「軸」，其他航空站為「輻」之航線配置，稱為軸輻路網 (hub-and-spoke networks)。此運輸型態將低度使用之航線，藉由空運中心轉運的方式，使流量集中在主要航線上，能產生規模經濟，降低單位運送成本。而軸輻路網內軸心港的形成，除仰賴不同層次的集貨航線路網配合，更須有本身的多元條件，例如，區域的樞紐中心、水深足夠、聯外交通便捷、高裝卸效率、全球性聯繫，及碼頭作業自動化等，如此方可吸引大型貨櫃船停靠。因此，在軸輻網路的定期貨櫃船經營模式下，航商如何選擇適當的軸心港作為航區中心，完成結合接駁支線的路網式航線規劃，提高船隊運送效率與競爭力，已是目前航線經營的主要發展趨勢。

學術上對軸輻路網式的航線研究，目前仍集中在航空運輸 (參見 2.1 節)，甚少論及海運貨櫃船隊運輸。海運以船舶運送貨物為主之特性與空運多有不同，為求符合海運之特性，謝尚行和張斐茹 (民 90) 首先以 O'Kelly (1987) 的軸輻路網之單一指派模式為基礎，建立一個「海運軸輻路網模式」，但為求目標值簡單、易解，此數學規劃式適度被簡化為線性模式。謝尚行、游至誠及王賢崙 (民 90)，Hsieh and Wong (2003, 2006) 進一步發展一個二次指派 (quadratic assignment) 的整數規劃模式，允許集貨港與軸心港不直接相連的支線型態存在，即非嚴格路網政策 (Aykin, 1994)，求解海運路網軸心港的位置，及集貨港與軸心港指派。宋彥俊 (民 91)，謝尚行、王賢崙及宋彥俊 (民 91) 除了允許集貨港與軸心港不直接相連外，並以迴圈作為支線航行基礎，分析集貨港與軸心港的最佳指派方式，並決定子船船隊的最佳數目。

在軸輻路網的定線基礎下，航商考量的營運因素為：貨櫃母船多靠軸心港，則營運成本會增加，但是運費收入 (每航次之載櫃率) 也能增加，關鍵就在於利潤 (運費收入 - 營運成本) 能否增加。因此，本文之海運軸輻路網模式，以收入和成本分析靠港數多寡的相互效果，納入市場運費、貨櫃流量、港埠成本、船型與船數、航行頻次、及船舶承載限制等因素，以能創造利潤最大之軸輻路網為船隊航線基礎。而謝尚行、游至誠及王賢崙 (民 90)，Hsieh and Wong (2003, 2006) 模式中，啟發式求解法是指派集貨港給距離最近的軸心港，此乃建立「距離與運輸成本呈正比例」的假設。一般而言，貨櫃船在同航線上往返的承載量通常是不平衡的，因此，本文之運量矩陣採不對稱資料。

本章構建之貨櫃船航線模式，為求模式明確表現軸心港作為區域轉運中心、負擔鄰近集貨港的貨物出入口的角色，本研究仍以二次指派、整數規劃為方法，模式內考量軸心港之港埠成本，採軸心港位置和個數由模式產生的方式，以分析航商在軸心港選擇之行為。因此，本研究將朝「非完全路網」、「單一指派」、「非嚴格路網」的定期航線特性，進一步擴展海運軸輻路網模式。

5.2 軸輻路網航線規劃之問題特性分析

1. 完全路網是指任何兩個軸心港都可直接往來，因此停靠的港口數少；而貨櫃船隊定期航線是依港口位置的地理方向，一港連結一港方式，依序往返串聯而形成的

(Ronen, 1993)，基本上，航線上灣靠的港口數量較多、時間較長，而航行路徑有分定港往復式、鐘擺式、多航段迴圈，及交叉式等型態，此較適合貨物運輸。因此，定期航線在軸心港之間的航行，表現的是非完全路網式的航行路徑（謝尚行、張斐如，民 90; Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006）。

2. 多重指派是指集貨港可能同時連結到多個軸心港，表示貨物運送不必經由軸心港間的運送；而貨櫃船隊航線在支線系統上，集貨港通常只連結到最近的一個軸心港，不常連結多個軸心港，如此才能反應出海運軸心港為區域轉運中心、負擔鄰近集貨港的貨物出入口的角色。因此，定期貨櫃船隊在支線的航行，是以單一指派為基礎（謝尚行、張斐如，民 90; Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006）。
3. 嚴格路網是指集貨港與集貨港互不連結，以致無法表現接駁航線的轉運特性；而貨櫃船航行在海上，從集貨港至軸心港的途徑，常必須先行徑到集貨港，再接到下一個軸心港，不僅是直接與軸心港相連。此項海運的接駁轉運特色，使單一支線可能擁有多個集貨港，以致航線可能以迴圈、依序往返或更複雜的方式呈現（Chadwin et al, 1990）。因此，定期貨櫃船在支線航線是非嚴格路網的型態（Hsieh and Wong, 2003, 2004, 2006）。

5.3 模式基本假設

本小節針對海運軸輻路網的特性，建立研究的基本假設，作為數學規劃模式的基礎，茲分述如下：



1. 海運航線路網是非完全路網、單一指派，及非嚴格路網的運送型態。
2. 非完全路網指大型貨櫃母船按所有的軸心港地理位置，採往返式依次停靠；軸心港通常超過兩個，而兩兩間不一定直接相連（如圖 5-1 所示）。
3. 單一指派表示每個集貨港只能與一個軸心港相連接。
4. 非嚴格路網指每個支線內集貨港之間有互動，亦即集貨港可能先與集貨港連結，再接至另一個軸心港。
5. 海運航線分主軸線與支線，主軸線由軸心港航段組成，而支線由軸心港與鄰近的集貨港相連而成。
6. 貨櫃母船航行於軸心港之間，而貨櫃子船行駛於支線航段上。

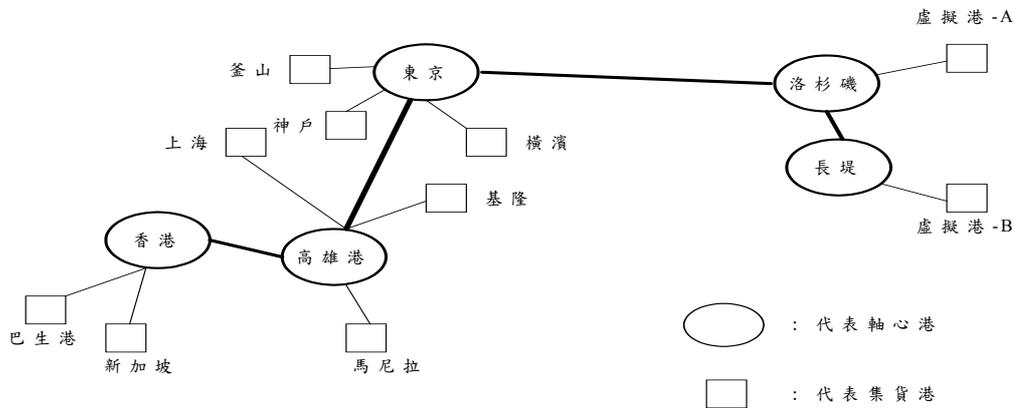


圖 5-1 海運軸輻路網式貨櫃定期航線示意圖

5.4 數學模式之構建

基於航線規劃因素與定期貨櫃航線的路網特性，本文在模式之基本假設下，根據前文 (2.5 節) 的軸輻路網設計步驟，發展數學模式，規劃最適軸輻路網式航線，此目標是使航線總系統利潤達到最大。航航線總系統包含軸心港主線與集貨港支線兩個子系統，因此，本節之數學模式分兩部份求解軸輻路網的軸心港位置問題，5.4.1 節之軸心港位置模式決定主線上母船要停靠的軸心港數量與位置，估算軸心港系統內航行的利潤(Z_1)。5.4.2 節之集貨港指派模式決定支線上集貨港指派及子船的集貨路線，估算集貨港系統的利潤(Z_2)。此二系統組合的最大目標值($Z_1 + Z_2$)，即代表本模式決策出的最適軸輻路網式貨櫃航線。相較於謝尚行、張斐茹 (民 90) 和 Hsieh and Wong (2003, 2006) 模式，本文在模式的假設與分析，較接近貨櫃船實際航行特性，且能符合航商航線規劃之行為。

5.4.1 軸心港位置模式

軸心港位置模式目的是在最大利潤目標下，尋找貨櫃船在主軸線的最適灣靠軸心港數量與位置，並完成主軸線航行路徑之規劃。為能求解函數目標值，規劃期訂為一年，其他之假設條件，說明如下：

- (1) 主軸線上貨櫃母船設為 6,000 TEU，而且有足夠的船舶可提供市場所需。
- (2) 主軸航段的貨櫃流量已知，且在規劃期內維持固定。
- (3) 主軸航段的貨櫃流量可以滿足運輸需求。
- (4) 主軸航段的平均運價已知，且在規劃期內維持固定。
- (5) 主軸線港口的碇泊費與裝卸費已知，且在規劃期內維持固定。

(6) 貨櫃母船的海上航行成本已知，且在規劃期內維持固定。

(7) 貨櫃母船的每日固定成本已知。

1. 目標函數：

本文的軸心港位置模式目標式，以 Z_1 表示利潤最大值，如 (5-1) 所示：

Max

$$Z_1 = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} F_{ij} z_{ij} - \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij}^m y_{ij} - \sum_{i=1}^n O_i^m x_i \right) \times N^m \times R^m - 365 \times N^m \times C^m$$

(5-1)

目標式 (5-1) 是修正 Hsieh and Wong (2004) 的主軸線利潤模式，其中 α 表示折扣係數，以反應出軸心港的規模經濟性。此利潤是由貨櫃船的運費收入減運送成本，乘每年的總航次數，再減每年固定成本而得出。運費收入是運費乘承載量，運送成本包括變動成本及固定成本。變動成本指貨櫃母船航行成本及靠港成本。其中， $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} F_{ij} z_{ij}$ 表示貨櫃船運費收入，是運費乘承載量， z_{ij} 是決策變數，當此值存在時，表示貨櫃船行經軸心港 (i, j) ，才有此兩港間的運費收入。 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij}^m y_{ij}$ 表示貨櫃船航行成本， y_{ij} 是決策變數，當此值存在時，表示軸心港之航段 (i, j) 有直接相連，才產生航行成本。 $\sum_{i=1}^n O_i^m x_i$ 表示貨櫃船靠港成本， x_i 是決策變數，當此值存在時，表示貨櫃船有停靠軸心港 (i) ，才計算靠港成本費用。 N^m 表示主軸線的貨櫃母船數量， R^m 表示貨櫃母船的總航行次數， C^m 表示貨櫃母船的每日固定成本。

目標式 (5-1) 內，

$$S_{ij}^m = D^m \left[d_{ij} \div (v^m \times 24) \right]$$

$$i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,n \quad (5-2)$$

表示每航段的航行成本，此值計算是航段距離除每天母船的平均航速，得出航行天數，再乘每天航行成本而得出。其中， d_{ij} 為軸心港 i 到軸心港 j 之距離， v^m 為母船平均航速， D^m 為每艘母船每天的航行成本。

目標式 (5-1) 內，

$$O_i^m = W_i^m + U_i \left(\sum_{p=1}^n F_{pi} z_{pi} + \sum_{p=1}^n F_{ip} z_{ip} \right) \quad i=1,2,\dots,n \quad (5-3)$$

表示貨櫃船靠港成本，以碇泊費用及裝卸費用為主要項目。其中， W_i^m 表示港埠碇泊費用，而 U_i 表示軸心港的裝卸費用，包括貨櫃船在軸心港產生的裝與卸二個動作， $\sum_{p=1}^n F_{pi} z_{pi}$ 表示貨櫃母船所卸的貨櫃量；而 $\sum_{p=1}^n F_{ip} z_{ip}$ 表示貨櫃母船將裝上船的貨櫃量。

目標式 (5-1) 內，

$$R^m = 365 \div \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij}^{ms} y_{ij} + \sum_{i=1}^n T_i^{mb} x_i \right) \quad (5-4)$$

表示貨櫃母船在主軸線的總航行次數，此值計算是以一年 365 天除貨櫃母船往返一航次的海上航行時間，及在港停靠時間而得出。其中， $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij}^{ms} y_{ij}$ 表示貨櫃母船在軸心港 (i, j) 之間的航行時間， $\sum_{i=1}^n T_i^{mb} x_i$ 表示貨櫃母船在軸心港 (i) 的停靠時間。

2. 限制式

本文所構建的數學模式之限制式分二部份，表示貨櫃母船在軸心港的裝卸的貨櫃量，必須不能超過船舶的容量，限制式說明如下：

(1) 去程母船容量限制

$$L_{i,o}^m = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n F_{pj} z_{pj} x_i \leq Q^m \quad (5-5)$$

(2) 回程母船容量限制

$$L_{i,r}^m = \sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} F_{pj} z_{pj} x_i \leq Q^m \quad (5-6)$$

母船容量限制有去程與回程，式 (5-5) 表示當母船前往軸心港(j)時，船上可裝貨櫃的容量，以 $\sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n F_{pj} z_{pj} x_i$ 表示，必須小於船舶容量 Q^m 。相同地，式 (5-6) 表示母船離開軸心港(j)時，其所承載的貨櫃總量，以 $\sum_{p=i}^n \sum_{j=1}^{i-1} F_{pj} z_{pj} x_i$ 表示，亦不能超過母船的船舶容量。

3. 決策變數：

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{表示貨櫃母船有停靠軸心港 } i, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示主線上軸心港 } i \text{ 和 } j \text{ 直接連接，亦即航段}(i, j)\text{存在，} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{表示貨櫃母船有停靠主線上軸心港 } i \text{ 和 } j, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

由 5.1 節的研究問題背景可知，本文海運軸輻路網模式在描述航商在航線上軸心港的選擇行為，及路網式航線設計問題。軸心港位置模式中考量的決策變數有上述三個，皆以 0-1 整數表現，此設計用意，就是為要符合海運非完全路網的假設。其中， x_i 代表軸心港變數， y_{ij} 代表航段變數，這兩者是模式求解的主要目的，當模式在解出函數最大目標值時，也可得知目標值所對應的決策變數 x_i 和 y_{ij} 值，此表示主軸線上的軸心港位置，及航段問題，可由模式化來解決。

4. 參數：

P_{ij} = 主軸航段上(i, j)的每單位貨櫃之運費；以美元/TEU 表示。

F_{ij} = 主軸航段上(i, j)的貨櫃流量。

S_{ij}^m = 每艘貨櫃母船在主軸航段上(i, j)的海上航行成本。

O_i^m = 每艘貨櫃母船在主軸航段，軸心港的港口成本。

L_i^m = 每艘貨櫃母船前往軸心港時，船上所承載的單位貨櫃量。

W_i^m = 每艘貨櫃母船停靠軸心港的港埠碇泊費用。

U_i = 每艘貨櫃母船在軸心港的單位貨櫃之裝卸費用；以美元/TEU 表示。

D^m = 每艘貨櫃母船的每日航行成本。

C^m = 每艘貨櫃母船的每日固定成本。

Q^m = 每艘貨櫃母船的單位貨櫃承載容量；以 TEU 表示。

N^m = 主軸航段上的貨櫃母船數量。

R^m = 在一年規劃期間內，每艘貨櫃母船往返航行於軸心港的總次數。

5.4.2 集貨港指派模式

5.4.1 節軸心港位置模式初步產生的軸輻路網內，支線集貨港指派與連結將不存在，根據前文 (2.5 節) 軸輻路網式航線的規劃步驟，本節將建構另一個數學式，解決集貨港的指派問題，以得到支線路網系統。基於 1.2.2 節分析與 5.3 節假設，貨櫃船航線在支線航線，是呈現單一指派、非嚴格的路網型態，本節模式將以此假設，在支線航線包含兩個以上集貨港的條件下，設計支線航線型態。因此，本節包括支線航線選擇與集貨港的指派。

1. 支線上航線選擇

在支線航線選擇上，此節所建立的決策分析假設，說明如下：

- (1) 支線系統上僅有「迴圈」及「直達」兩種航線型態。
- (2) 迴圈航線上，集貨港之間仍維持既定的相對位置順序。
- (3) 迴圈航線上每航段承載率，較直達航段的承載率為高。

在單一指派假設下，我們將以指派每個集貨港，給單一旦距離最近的軸心港為原則，此用意為求反應海運軸心港，負擔鄰近集貨港的轉運中心角色，當每個集貨港指派完成，亦即支線系統形成，模式將完成非嚴格路網的支線規劃。本節數學規劃式將考慮具高承載量的航線特性，作為非嚴格路網的支線航行方式。基本上，支線系統的貨櫃船航線有三種基本型態：分別是「直達」、「迴圈」以及「依序往返」航線型態，藉由這基本型態的組合，將可產生各種不同型式的支線路網。比較這三種支線航線型態，發現：「迴圈」式航線較能在各航段保持高承載量。

表 5-1 中，符號 a、b 代表集貨港，h 代表軸心港，而 O_a 、 D_a 及 O_b 、 D_b 表示 a、b 兩港的貨櫃起迄量。表 (5-1) 右部份之航段承載示意圖，表示各個航段所包含的運量，由此可知：「依序往返」的航段，沒有辦法保持兩筆運量，易可能出現市場貨量不均衡情形；「直達航線」內的每一個航段，僅含有一筆運量；只有在「迴圈航線」的航段情況下，各航段皆能保持兩筆運量，是較能表現出高承載量的集貨特性。航線上的承載量愈高，表示承載率愈高的可能，因此，本文假設：假設其他情況不變之下，子船採用迴圈式在支線集貨航行，相較於依序往返或直達航線，應有較高的貨櫃承載率。其次，這三種型態之各種組合共有：「直達+迴圈」、「直達+依序往返」、「迴圈+依序往返」以及「直達+迴圈+依序往返」四種可能，當集貨港愈多，組合存在愈高可能。

由表 5-2 發現：「直達+迴圈」及「直達+依序往返」的支線組合，較「迴圈+依序往返」以及「直達+迴圈+依序往返」的組合情況少（特別在集貨港多的情況）。為呈現支線集高承載量，及簡化航線分析的複雜度，本文選擇「直達+迴圈」的支線組合型態，即以「迴圈」及「直達」兩種航線型態，做為支線設計分析基礎，此用意仍是希望盡可能減少支線種類的複雜度，以增加求解的效率。

表 5-1 支線在迴圈、依序往返，與直達航線之貨物承載量

	航線圖	航段承載示意圖
迴圈航線		
依序往返		
直達航線		

(資料來源：謝尚行、游至誠及王賢崙，民 90)

表 5-2 不同集貨港數目下支線路網組合型態

支線型態 集貨港數量	直達+ 迴圈	直達+ 依序往返	迴圈+ 依序往返	直達+迴圈 +依序往返
2 個	3	3	4	5
3 個	9	9	4	17
4 個	35	35	52	93
5 個	153	153	124	465

(資料來源：謝尚行、游至誠及王賢崙，民 90)

2. 集貨港指派模式

為求解模式目標值，本節模式的假設條件，分述如下：

- (1) 支線上的貨櫃子船設為 1,500 TEU，而且有足夠的船舶可提供市場所需。
- (2) 集貨港航段的貨櫃流量能滿足運輸需求。
- (3) 集貨港之間的貨櫃流量已知，且在規劃期內維持固定。
- (4) 集貨港之間的平均運價已知，且在規劃期內維持固定。
- (5) 支線航線內航段的海上航行成本已知，且在規劃期內維持固定。
- (6) 集貨港的港埠碇泊費與裝卸櫃成本已知，且在規劃期內維持固定。
- (7) 貨櫃子船的每日固定成本已知。

1. 目標函數：

本節所構建的集貨港指派模式，目標式如 (5-7) 所示，式中 Z_2 表示目標式之最大利潤值。

Max

$$\begin{aligned}
 Z_2 = & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{(in)j} F_{(in)} x_{in} z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{n=1}^{m_j} P_{i(jn)} F_{i(jn)} x_{jn} z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{n'=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n \sum_{n''=1}^{m_j} P_{(in')(jn'')} F_{(in')(jn'')} z_{(in')(jn'')} z_{ij} - \sum_{i=1}^n U_i^f x_i \right) \\
 & \times N^m \times R^m - \sum_{i=1}^n \sum_{n_c=1}^{m_i} \sum_{n_f=1}^{m_i+1} N_i^f \times R_i^f \times S_{(in')(jn'')}^f Y_{(in')(jn'')} x_i - \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} O_{in}^f x_{in} x_i - \sum_{i=1}^n O_i^f x_i - 365 \times C^f \times \sum_{i=1}^n N_i^f x_i
 \end{aligned} \tag{5-7}$$

目標式 (5-7) 是計算支線利潤的數學模式，支線上子船的運費收入來自三個航段的貨源：集貨港至軸心港、軸心港至集貨港，及集貨港經由軸心港航段至集貨港。因此，

支線上利潤的計算方式是，子船在這三航段的運費加總，減掉貨櫃在軸心港轉運時的裝卸成本，再乘母船數量及航行次數，(由於軸心港航段的部份，須由母船轉運，所以採用母船數量及航行次數計算)，所得之值即為支線年運費收入，此值扣除支線上的變動成本，(包括航行成本、靠港成本)，及每年固定成本，最後得到的即為航商在支線航線上每年的利潤。

目標式 (5-7) 內各項說明如下， $\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{(in)j} F_{(in)j} x_{in} z_{ij}$ 代表集貨港(in)至軸心港(j)的運費收入， x_{in} 與 z_{ij} 是決策變數，當此值存在時，表示貨櫃船行經軸心港(i, j)，才有此兩港間的運費收入； $\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{i(jn)} F_{i(jn)} x_{jn} z_{ij}$ 代表軸心港(i)運送至集貨港(jn)的運費收入，也必須當 x_{in} 與 z_{ij} 存在時，才產生； $\sum_{i=1}^n \sum_{n^o=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n \sum_{n^d=1}^{m_j} P_{(in^o)(jn^d)} F_{(in^o)(jn^d)} z_{(in^o)(jn^d)} z_{ij}$ 代表集貨港經由軸心港航段至另外集貨港的運費收入，上述三項即是子船在支線段可產生的運費收入。

目標式 (5-7) 內，

$$U_i^f = U_i \left(\begin{array}{l} \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{ip} + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn')} z_{(in)(pn')} z_{ip} \\ + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_p} F_{i(pn)} x_{pn} z_{ip} + \sum_{p=1}^i \sum_{n=1}^{m_p} F_{(pn)i} x_{pn} z_{pi} \end{array} \right) \quad i=1,2,\dots,n; p \neq i \quad (5-8)$$

表示貨櫃在軸心港的裝卸成本，此項成本是集貨港的貨櫃，經由軸心港航段轉運至另一集貨港時會產生，所產生的動作是貨櫃在子船與母船之間的轉換，此轉換動作在軸心港，而這些轉換動作的可能，是源自上述三航段的貨櫃流向。上式 (5-8) 內，

$\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{ip}$ 表示集貨港(pn')運至集貨港(in)，在軸心港 i 時轉船的裝卸貨

量，相同地， $\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn')} z_{(in)(pn')} z_{ip}$ 表示集貨港(in)運至集貨港(pn')，在軸心港 p 與 i

轉船時的裝卸貨量；其他航段貨量流向， $\sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} F_{p(in)} x_{in} z_{pi}$ 表示軸心港(p)運至集貨港(in)，

在軸心港(i)轉船時的裝卸貨量， $\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip}$ 表示集貨港(in)運至軸心港(p)，在軸心港

(i)轉船時的裝卸貨量； $\sum_{p=1}^i \sum_{n=1}^{m_p} F_{(pn')_i} x_{pn'} z_{pi}$ 表示集貨港(pn')運至軸心港(i)，在軸心港(p)轉船

的裝卸貨量， $\sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_p} F_{i(pn')} x_{pn'} z_{ip}$ 表示軸心港(i)運至集貨港(pn')，在軸心港(p)轉船的裝卸貨

量。因此，將上述航段的貨量加總，乘軸心港的裝卸貨成本，得出支線系統上貨櫃經由軸心港轉運的總裝卸成本。

目標式 (5-7) 內，

$$S_{(in^o)(jn^d)}^f = D^f \left[(d_{(in^o)(in^d)} + d_{(in^o)_i} + d_{i(in^d)}) \div (V^f \times 24) \right]$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n^o=1,2,\dots,m_i \quad n^d=1,2,\dots,m_i \quad n^o < n^d \quad (5-9)$$

此式修正 Hsieh and Wong (2004) 模式內子船總航行成本，表示以軸心港(i)為支線系統的航行成本，其中， $d_{i(in^o)} + d_{(in^d)_i} + d_{(in^o)(in^d)}$ 表示以軸心港(i)為支線系統的航段的距離，包括迴圈航行的三個航段，以距離除以船平均航行速度(V^f)，再乘每日的航行成本(D^f)，即得到每艘子船的每航次航行成本($S_{(in^o)(jn^d)}^f$)；因此，

$\sum_{i=1}^n \sum_{n^o=1}^{m_i} \sum_{n^d=1}^{m_i+1} N_i^f \times R_i^f \times S_{(in^o)(jn^d)}^f y_{(in^o)(jn^d)}^f x_i$ 表示子船的每年航行成本，其中， N_i^f 表示以軸心

港(i)為支線系統的子船數量。

目標式 (5-7) 內，

$$R_i^f = 365 \div \left(\sum_{n^o=1}^{m_i} \sum_{n^d=1}^{m_i+1} (T_{i(in^o)}^{fs} + T_{(in^d)_i}^{fs} + T_{(in^o)(in^d)}^{fs}) y_{(in^o)(in^d)}^f + \sum_{n=1}^{m_i} T_{in}^{fb} x_{in} \right)$$

$$i=1,2,\dots,n \quad (5-10)$$

表示以軸心港(i)為支線系統的子船每年的航行次數，此值計算是以一年 365 天除以子船往返一航次的航行時間及靠港時間而得出。其中， $T_{i(in^o)}^{fs} + T_{(in^d)_i}^{fs} + T_{(in^o)(in^d)}^{fs}$ 表示子船從集貨港(in^o)經軸心港(i)，到集貨港(in^d)的迴圈航行時間， T_{in}^{fb} 表示子船在集貨港(in)的停靠時間。

目標式 (5-7) 內，

$$O_{in}^f = N^f \times R^f \times W_{in}^f + U_{in} \left(\sum_{p=1}^n F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{pi} \right. \\ \left. + \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{p=1}^i \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn')} z_{(in)(pn')} z_{ip} \right) \times N^m \times R^m \\ i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5-11)$$

表示子船在集貨港(*in*)的靠港成本，以碇泊費用及裝卸成本為代表項目，上式 (5-11)內， $N^f \times R^f \times W_{in}^f$ 表示子船總碇泊費用，其中， N^f 是子船數目、 R^f 是子船航行次數、 W_{in}^f 是子船在集貨港(*in*)的碇泊費用； $\sum_{p=1}^n F_{p(in)} x_{in} z_{pi}$ 表示軸心港(*p*)到集貨港(*in*)的貨量；

$\sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip}$ 表示集貨港(*in*)至軸心港(*p*)之貨量； $\sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{pi}$ 表示集貨港(*pn'*)

至集貨港(*in*)之貨量； $\sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn')} z_{(in)(pn')} z_{ip}$ 表示集貨港(*in*)至集貨港(*pn'*)之貨量。因此，

上述兩航段的往返總貨量、集貨港裝卸費用、航行次數，與母船數量的乘積，即得到子船在集貨港的每年裝卸貨櫃成本。

目標式 (5-7) 內，

$$O_i^f = N^f \times R^f \times W_i^f + U_i \left(\sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} \sum_{n''=1}^{m_p} F_{(pn'')(in)} z_{(pn'')(in)} z_{pi} \right. \\ \left. + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n''=1}^{m_p} F_{(in)(pn'')} z_{(in)(pn'')} z_{ip} - \sum_{n''=1}^{m_i} \sum_{n'=1}^{m_i} F_{(in'')(in')} z_{(in'')(in')} x_i \right) \times N^m \times R^m \\ i=1,2,\dots,n \quad (5-12)$$

表示支線航線上，子船停靠軸心港(*i*)的總靠港成本，包含碇泊費用及裝卸成本，上式 (5-12) 內， $N^f \times R^f \times W_i^f$ 表示子船停靠軸心港 *i* 的總碇泊費用，其中， N^f 表示子船的數量、 R^f 表示子船的航次，與 W_i^f 表示子船每次停靠軸心港的碇泊費用； $\sum_{p=1}^n \sum_{w=1}^{m_i} F_{p(in)} x_{in} z_{pi}$

表示子船承載由軸心港(*p*)至集貨港(*in*)的貨量， $\sum_{p=1}^n \sum_{n''=1}^{m_p} \sum_{n'=1}^{m_i} F_{(pn'')(in)} z_{(pn'')(in)} z_{pi}$ 表示子船承載

由集貨港(pn^o)至集貨港(in)之貨量， $\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip}$ 表示子船承載由集貨港(in)至軸心港

(p)的貨量， $\sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(in)(pn^d)} z_{(in)(pn^d)} z_{ip}$ 表示子船承載由集貨港(in)至集貨港(pn^d)之貨量。

因此，子船的總承載貨量、軸心港裝卸費用、母船航行次數，與母船數量，四項乘積得到的值，即是子船在軸心港每年的裝卸成本。

2. 限制式

此節集貨港指派模式的限制式有四項，主要是反應軸輻路網在主線、支線的接駁流量特性，這些在軸心港轉運的貨櫃，必須不能超過船舶的容量，限制式說明如下：

(1) 母船去程容量限制

$$L_{i,o}^m = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n F_{pj} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{p(jn^d)} x_{jn^d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n F_{(pn^d)j} x_{pn^d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(pn^d)(jn^d)} z_{(pn^d)(jn^d)} z_{pj} \leq Q^m$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5-13)$$

(2) 母船回程容量限制

$$L_{i,r}^m = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i-1}^n F_{pj} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{j=i-1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{p(jn^d)} x_{jn^d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} \sum_{j=i-1}^n F_{(pn^d)j} x_{pn^d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} \sum_{j=i-1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(pn^d)(jn^d)} z_{(pn^d)(jn^d)} z_{pj} \leq Q^m$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5-14)$$

(3) 子船在同支線上容量限制

$$L_{in}^n = \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=n+1}^{m_p} F_{p(in^d)} x_{in^d} z_{pi} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=n+1}^{m_p} \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(pn^d)(in^d)} z_{(pn^d)(in^d)} z_{pi} + \sum_{n^d=1}^n \sum_{p=i}^n F_{(in^d)p} x_{in^d} z_{ip} + \sum_{n^d=1}^n \sum_{p=i+1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(in^d)(pn^d)} z_{(in^d)(pn^d)} z_{ip} \leq Q^f$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5-15)$$

(4) 子船在不同支線上容量限制

$$L_{in}^n = \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{p(in^d)} x_{in^d} z_{pi} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^d=1}^{m_p} \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(pn^d)(in^d)} z_{(pn^d)(in^d)} z_{pi} \leq Q^f$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5-16)$$

限制式 (5-13) 表示母船去程容量限制，當母船離開軸心港(i)時，所裝載貨櫃量必須小或等於船舶容量(Q^m)，貨櫃包括軸心港(i)至軸心港(j)的貨櫃量、軸心港(i)至集貨港

(jn^d) 的貨櫃量、集貨港(in^o)至軸心港(j)的貨櫃量，及集貨港(in^o)至集貨港(in^d)的貨櫃量。

限制式 (5-14) 表示母船回程容量限制，當母船抵達軸心港(i)時，所裝載的貨櫃量必須小於或等於母船船舶的容量(Q^m)，貨櫃包含由軸心港(i)至軸心港(j)的貨櫃量、軸心港(i)送至集貨港(in^d)的貨櫃量、集貨港(in^o)至軸心港(j)的貨櫃量，及集貨港(in^o)至集貨港(in^d)的貨櫃量。

限制式 (5-15) 表示子船在同支線上(軸心港)容量限制，當子船由軸心港(i)前往集貨港(in)時，所載運的貨櫃量小於或等於子船船舶的容量(Q^f)，貨櫃包含軸心港(i)至集貨港(in^d)、集貨港(in^o)至集貨港(in^d)、集貨港(in^o)至軸心港(i)、集貨港(in^o)至集貨港(pn^d)等流向。

限制式 (5-16) 表示子船在不同支線上(集貨港)容量限制，當子船由軸心港(i)出發往集貨港(in)時，所裝載的貨櫃量必須小於或等於子船船舶容量(Q^f)，貨櫃包含軸心港(i)至集貨港(in^d)、集貨港(in^o)至集貨港(in^d)的流向。

藉由支線指派之目標式與其所有的限制式，即可獲得支線指派的最大獲利。而後再將支線指派最大獲利與主航線上母船營運的最大獲利相加，即可獲得航商於一年規劃期間內的最大獲利。

3. 決策變數：



$$x_{in} = \begin{cases} 1 & \text{表示子船停靠集貨港 } in, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$y_{(in^o)(in^d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示集貨港 } in^o \text{ 和 } in^d \text{ 直接連接，亦即航段}(in^o, in^d)\text{存在，} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$z_{(in^o)(in^d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示子船有停靠集貨港 } in^o \text{ 和 } in^d, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

由前文說明可知，集貨港指派模式是要決定集貨港指派與航線型態問題，完成支線路網。此模式中考量有三個決策變數，皆以 0-1 整數表現，此設計用意，就是為要符合本文建立的海運單一指派、非嚴格路網假設。其中， x_{in} 代表集貨港變數，變數(x)下標內第一符號(i)表示軸心港位置，下標內第二符號(n)表示集貨港位置，當 x_{in} 變數存在時，表示支線系統內產生集貨港(in)，且這集貨港(in)僅指派到第 i 個位置的軸心港；而 $y_{(in^o)(in^d)}$ 代

表支線航段變數，變數 (y) 下標內符號 in^o 、 in^d 表示集貨港的起、迄位置，當 $y_{(in^o)(in^d)}$ 變數存在時，此表示支線系統內產生二個集貨港，且他們是以迴圈式型態、相互連結。由上述說明可知，這兩變數是模式求解的主要目的，當模式在解出函數最大目標值時，同時會得出目標值所對應的決策變數 x_{in} 和 $y_{(in^o)(in^d)}$ 值，這表示集貨港的指派(到哪一個軸心港)，及支線的航段(集貨港有無連結)與航線(集貨港的連結)問題，可經由模式解決。

4. 決策參數：

$P_{(in)j}$ = 支線航段 (in, j) 的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$P_{j(in)}$ = 支線航段 (j, in) 的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$P_{(in^o)(jn^d)}$ = 支線航段 (in^o, jn^d) 的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$F_{(in)j}$ = 支線航段 (in^o, jn^d) 的貨櫃流量。

$F_{j(in)}$ = 支線航段 (j, in) 的貨櫃流量。

$F_{(in)(jn)}$ = 支線航段 (in^o, jn^d) 的貨櫃流量。

$S_{(in^o)(jn^d)}^f$ = 每艘子船在支線航段 (in^o, jn^d) 的航行成本。

O_{in}^f = 每艘子船在集貨港 (in) 的港埠成本。

O_i^f = 每艘子船在軸心港 (i) 的港埠成本。

U_i^f = 每艘子船在軸心港 (i) 的裝卸貨櫃成本。

L_{in}^{fa} = 每艘子船行駛到集貨港 (in) 前，船上承載的貨櫃量；以 TEU 計算。

L_i^f = 每艘子船離開軸心港 (i) 後，船上承載的貨櫃量；以 TEU 計算。

W_{in}^f = 每艘子船在集貨港 (in) 的碇泊成本。

U_{in} = 每單位貨櫃在集貨港 (in) 的裝卸貨櫃費用；以美元/TEU 表示。



D^f = 每艘子船的每日固定成本。

C^f = 每艘子船的每日航行成本。

Q^f = 每艘子船可承載的單位貨櫃容量；以 TUE 計算。

N_i^f = 規劃時期內子船佈署的數量。

R_i^f = 規劃時期內每艘子船的船行次數。

5.5 折扣係數模式

折扣係數 (discount factor) 是指不同噸位船舶的單位運輸成本比值，此係數的主要功能，在於反應軸心港間因大量貨源集中而產生之規模經濟。本文引用謝尚行、王賢崙 (民 95) 成本模式，建構折扣係數模式 (5-17~5-20)，說明如下：

$$\alpha = \frac{UT_s}{UT_b} \quad (5-17)$$

$$UT_{i \in (s,b)} = \{(C_{ci}^y + C_{pi}^y) + Q_i^y(L_a + L_b)(O_i^a + O_i^b)S_i + (C_{wi}^k \times E_i^k \times Q_i^y) + (C_{fi}^s \times E_i^s \times Q_i^y)\} / L_i^y \quad (5-18)$$

$$Q_i^y = 360 \div \left[\left(\frac{2D_i}{V_i} \div 24 \right) + \left(\frac{2(L_a + L_b)S_i}{N_i^k} + K_n \right) \div 24 \right] \quad (5-19)$$

$$E_i^k = \left(\frac{2(L_a + L_b)S_i}{N_i^k} + K_n \right) \div 24 \quad (5-20)$$

上式 (5-17) 表示折扣係數模式，是表示軸心港使用大型貨櫃船之單位運送成本 (UT_b) 與小型貨櫃船之單位運送成本 (UT_s) 之比值。式 (5-18) 表示單位運送成本模式，此值由年總運送成本，除年總載櫃量而得，總運送成本包括資金成本、營運成本、貨櫃裝卸費、碇泊成本，及燃油成本。式 (5-19) 表示式 (5-18) 中貨櫃船在航線上每年往返的總次數，此值由海上航行距離、船速、港口裝卸效率、港口裝卸費，及載櫃量決定。式 (5-20) 表示式 (5-19) 中貨櫃船每航次的滯港日數，包括港口作業時間和準備時間，港口作業時間計算是貨櫃船承載量除港口裝卸率，港口是 24 小時作業。 Kn 表示貨櫃船在港口的入港前置時間和出港準備時間，這兩項與船型關係甚小，可視為固定值。

式 $(L_a + L_b)(O_i^a + O_i^b)S_i$ 表示貨櫃船往返一航次於起迄港的貨櫃裝卸費。此模式之參數說明，請參考前文 (3.2.3 節)。

5.6 模式求解步驟

軸輻路網在節點指派有不規則性，使軸心港位置問題變得較複雜，由於軸輻路網模式具有非凸性 (non-concavity)，屬於 NP-Hard 性質問題，以致常必須藉助電腦，處理目標值求解。目前文獻上對有此類特性的函數，求解目標值有二途：問題線性化或啟發式法求解，請參見前文 (2.2.2 節) 所述。本文發展的軸輻路網模式，包括軸心港位置與集貨港指派模式，是二次指派模式，存有上述函數特性，因此本文將以發展啟發式求解法，求解目標值，此雖不保證得到函數全域最佳解，但理論上應為確切解。

本文軸心港位置模式參考 O'Kelly (1987) 的 HURI 1 為原則，此法是事前認為不可能為最佳解的數值先排除掉，不納入計算，才開始進行其餘數值的求解，基本上此法是窮舉法，因此應能得到模式的確切解。做法上，本文先給定軸心港數量，由模式窮舉每組最佳解，再選擇較佳解的組合，進入第二階段；第二階段的集貨港指派模式以“距離最短指派”為原則，用意為求表現海運軸心港的功能，亦即負擔鄰近小港的區域轉運中心。做法上，本文將第一階段未獲選為軸心港的港口，即集貨港，指派給距離最近的一個軸心港，如此以形成以軸心港為中心的支線系統，其次選擇迴圈和直航航行作為支線型態，再窮舉每組最佳支線利潤值；最後整合二階段模式，調整出一組利潤最大值的軸心港與集貨港指派組合，作為此單一指派、非嚴格型海運軸輻路網模式之最佳解，模式求解流程，如圖 5-2。本文利用 Mathematica 4.0 軟體求解二階段模式最大利潤值。

本文海運軸輻路網模式的目標值求解步驟，如下所示：

- [步驟 1] 對計劃航行區域內的港口，先決策出軸心港與集貨港
- [步驟 2] 決定軸心港之間的航行型態與母船服務頻次，完成主軸線的規劃
- [步驟 3] 建立指派原則並完成集貨港到軸心港指派，以建立支線系統
- [步驟 4] 決定集貨港到軸心港的航行型態及子船數量，完成支線的規劃
- [步驟 5] 調整主軸線與支線的航行可能組合，以達到利潤最大化目標
- [步驟 6] 完成最適海運軸輻路網式的貨櫃船航線規劃

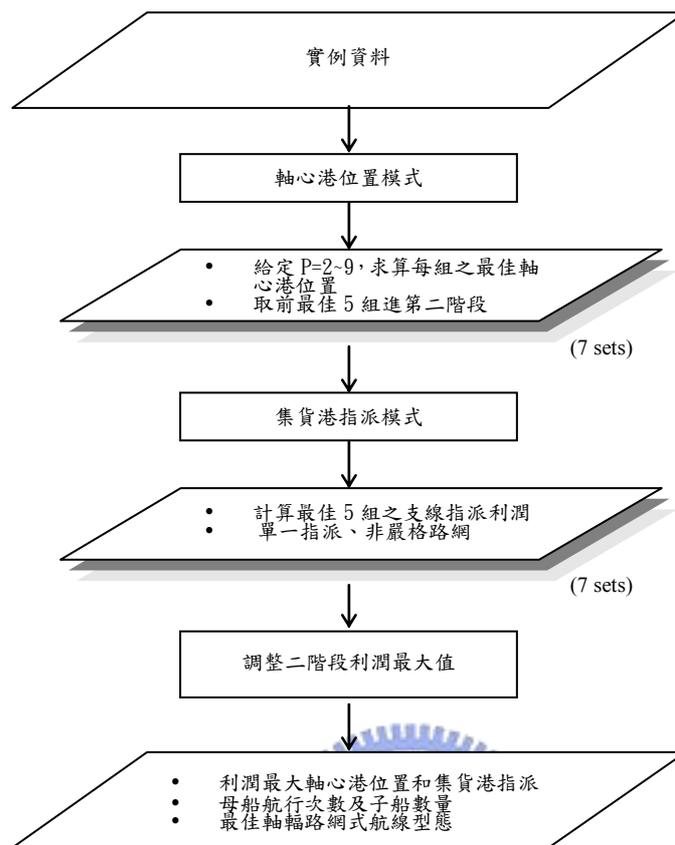


圖 5-2 海運軸輻路網模式二階段求解流程圖

5.7 小結

1. 本章建構的模式，主要以 Hsieh and Wong (2004) 模式為基礎，但延伸其未分析之處，包括：(1) 引用折扣係數概念，修正軸心港航行成本公式，以反應出軸輻路網的運輸特性，亦即貨源集中而產生的規模經濟性，(2) 修正支線的航行距離，及母船與子船的航行次數等式，以符合支線迴圈航行之假設，(3) 增加集貨港航行路徑分析，以反應支線接駁航線與指派型態。藉此補充，使模式分析更完整與嚴謹。本章假設條件及分析角度，掌握到貨櫃船實際航行的特性，且符合航商港口決策及航線規劃之原則。
2. 本章數學規劃式設計，目的以能描述定期航線的獨特性，考量運費收入與、營運成本、燃油成本、港埠費用、服務頻次、船型，及航線型態等參數，在追求利潤最大目標下，尋找出最佳軸輻路網式的定期航線。模式分析的另一重點，在於觀察軸心港位置、主軸線航段、集貨港位置、集貨港指派，及支線航段等變數的改變，對軸輻路網式設計的可能影響。
3. 本章模式在支線航線選擇的決策，其用意並非着重在探討子船航行設計，而是希望

透過集貨港彼此相連的方式，讓子船的支線接駁效率，在軸輻路網式航線能被反應出來，同時在一個較符合海運實務之軸輻路網中，得到最佳軸心港位置與港埠連結關係。因此，在支線航線處理與設計方面，本文乃希望在兼顧支線集貨特性的同時，以較單純的支線型態來描述整個支線路網。

4. 文獻上對折扣係數的分析，大部份是設為定值；實際上，折扣係數會受某些變數的影響而改變，在模式內以固定值求解問題的作法，容易導致偏差，而影響軸心港位置的決策。最後，本章增加折扣係數模式，目的在確認折扣係數存在與範圍，並釐清折扣係數值的差異性。



第六章 單一指派非嚴格海運軸輻路網模式之應用與測試

為進一步瞭解軸輻路網式航線的佈設，本文以越太平洋航線（亞洲-北美）為航線規劃的準備區域，並選擇 12 個港口²作為貨櫃船停靠站，以進行前文模式 (5-1, 5-7) 的測試，以瞭解軸輻路網模式在求解與應用上的可行性。本章主要內容有：6.1 節介紹越太平洋航線港口背景、位置，及成本資料的引用；6.2 節軸心港位置模式求解，說明如何在規劃的準備區域內眾多港口中，選擇出軸心港，供大型貨櫃船停靠，完成主軸航線；6.3 節集貨港指派模式求解，說明集貨港對軸心港的指派與航線，並完成支線航線；6.4 敏感度分析，檢驗當承載率、港埠費用，及燃油價格變動時，模式目標值與軸輻路網航線是否有影響；6.5 節折扣係數模式的求解與說明；6.6 節小結。

6.1 實例背景說明

本章在港口的選取，以綜合貨櫃量、國家、港口排名，並考慮大型貨櫃母船靠港限制，選取越太平洋航線的國際貨櫃航線為例，主要港口如表 (6-1) 所示，此航線的港口、流量，及距離特性，適合作為主線、接駁線的航線規劃，參見前文 Robinson (1998) 的分析。實例內各相關資料³，例如，貨櫃流量、貨櫃船成本，及港埠費用等，由港口網站上公佈資料及參訪國內航商而得。模式求解方面，本文以啟發式解法原則，根據前文 (5.5 節) 軸輻路網的求解步驟，應用數學軟體 Mathematica 4.0 執行計算。航商提供 10 艘貨櫃母船，子船視各集貨系統的港口與流量而定，由模式決定。

模式假設條件如下：

1. 航線上停靠的軸心港位置以數字大小表示；
2. 單位運送價格：以 20 呎×8 呎×8 呎 (TEU) 貨櫃為單位；
3. 主軸線上貨櫃母船設為 6,000 TEU，平均航速 25 節；支線貨櫃子船，亦即小型集貨船，為 1,000 TEU，航速 17 節。航商有足夠的子船，可提供市場需求；
4. 船舶承載率：貨櫃船往返兩港之間平均承載率，為預設定值，且市場運量可以滿足貨櫃船需求；
5. 貨櫃母船的平均耗油量是 200 公噸/每天，貨櫃子船耗油 30 公噸/每天，各港口燃油價格不同，以平均燃油價格美元 200/公噸為基準。
6. 在不同港口轉運時，船期無延遲，不考慮貨主時間成本與存貨成本。

² Ports: 1. Singapore (SGSIN), 2. Manila (PHMNL), 3. Hong Kong (HKHKG), 4. Shanghai (CNSHA), 5. Kaoshiung (TWKHH), 6. Keelung (TWKEL), 7. Pusan (KRPUS), 8. Kobe (JPUKB), 9. Yokohama (JPYOK), 10. Tokyo (JPTYO), 11. Los Angeles (USLAX), 12. Long Beach (USLGB).

³ Sources: (1) Key Indicators 2005: Education for Global Participation, Asia Development Bank 2004, (2) Official U.S. Waterborne Transportation Statistics, Maritime Administration, Department of Transportation, 2004, (3) Containerization International Yearbook 2004, (4) Institute of Transportation, Ministry of Transportation & Communications, Taiwan, R.O.C.

表 6-1 越太平洋航線主要貨櫃港在世界排名(單位：10³ TEU)

排名		港口	國別	貨櫃裝卸量	
2004	2003			2004	2003
1	1	香港 (Hong Kong)	中國大陸	21,984	20,449
2	2	新加坡 (Singapore)	新加坡	21,329	18,411
3	3	上海(Shanghai)	中國大陸	14,557	11,283
5	5	釜山 (Pusan)	韓國	11,492	10,247
6	6	高雄 (Kaoshiung)	台灣	9,714	8,843
8	7	洛杉磯 (Los Angeles)	美國	7,321	7,179
12	13	長堤 (Long Beach)	美國	5,780	4,658
20	17	東京 (Tokyo)	日本	3,580	3,314

(資料來源：Containerisation International, March. 2005)

6.2 軸心港位置模式求解

軸心港位置模式目的是在最大利潤目標下，尋找出貨櫃船在主軸線的最適灣靠軸心港 (p) 數量與位置，並完成主軸線航行路徑之規劃。個案的求解步驟是，首先須區分出航線上港口是軸心港或集貨港，其次求解軸心港組成的主軸線目標值。航線上軸心港組合數種為 $\sum_{i=2}^{12} C_{12}^i$ ，求解不易，本文以啟發式解法求解，假設最佳軸心港數量落於 2 到 9 個之間，本文計算每組前 7 大目標值，最後排序各組目標值大小，比較得出最大目標值，此值對應的就是軸心港位置模式求解的最佳一組軸心港組合，包括港口數量與位置，經由這組軸心港的港口地理方向，就可完成貨櫃母船的主軸航行航線規劃。未評選為軸心港的剩下港口，即歸類為集貨港，這些港將以集貨港指派模式 (6.3 節) 再進行處理。

我們以 2 個軸心港這組為例子說明，經模式求解結果，如表 6-2 所示，最大目標值為 7.1423×10^6 ，其對應出的軸心港位置是 {4、11}，每艘母船航行 13 頻次。其餘的依遞減排序是：{3、11}、{4、12}、{7、12}、{7、11}、{3、11}、{2、12} 等港口，相同求解過程，3 到 9 個軸心港的軸心港位置模式目標值，求解結果，如表 6-3~6-8 所示。表 6-3~6-9 也顯示軸心港目標值與母船航行頻次的關係，即如果目標值愈大，則母船航行頻次有愈少的傾向，此現象與港口數量有關，當船舶停靠港多，則港埠作業時間長、航行頻次少。表 6-10 顯示軸心港位置模式求解最後結果，在 2 到 9 個軸心港的測試中，最大目標值落在 6 個軸心港上，這組港口包括：{香港、高雄、基隆、釜山、洛杉磯、長堤}，同時每艘母船有 10 頻次往返在這 6 個港口上。其餘的目標值，依遞減排序是：{7、5、8、4、9、3、2} 個軸心港的組合。當完成主軸線港口與航線設計之後，

接下來要進行剩下港口的指派，本文選取前 5 大求解目標值，即軸心港數量介於 4 到 8 個的組合，進行集貨港指模式的求解。

表 6-2 設置 2 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	7.1423	{4、11}	13
2	4.6098	{3、11}	13
3	3.7996	{4、12}	15
4	3.6617	{7、12}	15
5	2.1814	{7、11}	15
6	1.1140	{3、12}	15
7	1.0022	{2、12}	16

表 6-3 設置 3 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	44.47290	{3、4、11}	12
2	18.72954	{4、7、11}	12
3	17.38573	{3、4、12}	12
4	7.48601	{2、4、11}	12
5	7.19385	{4、5、11}	13
6	5.12943	{4、6、11}	13
7	4.43954	{4、8、11}	13

表 6-4 設置 4 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	59.0850	{3、4、11、12}	11
2	57.6831	{3、4、7、12}	11
3	45.1127	{3、4、5、11}	11
4	42.5074	{3、4、8、11}	11
5	41.4117	{3、4、11、11}	11
6	41.3218	{2、3、4、11}	11
7	40.9127	{3、4、6、11}	11

表 6-5 設置 5 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	69.9204	{3、4、7、11、12}	11
2	59.9582	{3、4、5、11、12}	11
3	59.3724	{2、3、4、11、12}	11
4	57.9511	{3、4、8、11、12}	11
5	57.0287	{3、4、10、11、12}	11
6	56.0188	{3、4、9、11、12}	11
7	55.9230	{3、4、6、11、12}	10

表 6-6 設置 6 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	70.8051	{3、4、5、7、11、12}	10
2	69.6686	{2、3、4、7、11、12}	10
3	68.3316	{3、4、6、7、11、12}	10
4	66.0465	{3、4、7、8、11、12}	10
5	63.9035	{3、4、7、10、11、12}	10
6	63.3440	{3、4、7、9、11、12}	10
7	59.7745	{2、3、4、5、11、12}	10

表 6-7 設置 7 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	70.6257	{2、3、4、5、7、11、12}	10
2	68.5159	{2、3、4、6、7、11、12}	10
3	68.2538	{3、4、5、6、7、11、12}	10
4	67.0874	{3、4、5、7、8、11、12}	10
5	66.3088	{2、3、4、7、8、11、12}	10
6	65.7666	{3、4、5、7、10、11、12}	10
7	65.6356	{3、4、6、7、8、11、12}	10

表 6-8 置 8 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	68.5595	{2、3、4、5、6、7、11、12}	9
2	67.3921	{2、3、4、5、7、8、11、12}	9
3	66.3414	{2、3、4、5、7、10、11、12}	9
4	66.2000	{2、3、4、6、7、8、11、12}	9
5	66.0280	{2、3、4、5、7、9、11、12}	9
6	65.7322	{2、3、4、5、6、8、11、12}	9
7	65.6326	{3、4、5、7、8、10、11、12}	9

表 6-9 設置 9 個軸心港之軸心港位置模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行頻次/艘
1	60.4041	{2、3、4、5、6、7、10、11、12}	8
2	58.3380	{2、3、4、5、6、7、8、11、12}	8
3	55.0607	{2、3、4、5、7、8、9、11、12}	8
4	54.3869	{2、3、4、5、6、7、10、11、12}	8
5	54.0459	{2、3、4、5、6、7、10、11、12}	8
6	52.9465	{2、3、4、6、7、8、10、11、12}	8
7	52.8533	{2、3、4、5、6、7、9、11、12}	8

表 6-10 軸心港位置模式求解各組最大目標值的排序

軸心港數量 ($p=2\sim 9$)	目標值 (10^6 美元)	最佳軸心港位置	母船航行 頻次/艘
2	7.1423	{4、11}	13
3	44.4729	{3、4、11}	12
4	61.3874	{3、4、11、12}	11
5	69.9204	{3、4、7、11、12}	11
6	70.8051	{3、4、5、7、11、12}	10
7	70.6257	{2、3、4、5、7、11、12}	10
8	68.5595	{2、3、4、5、6、7、11、12}	9
9	60.4041	{2、3、4、5、6、7、10、11、12}	8

6.3 集貨港指派模式求解

集貨港指派模式目的解決集貨港的分配，在最大利潤為前提下，經由指派原則，完成支線上的集貨港與軸心港的連結，及航行路徑。求解步驟是，首先將這些未評選為軸心港的剩下港，亦即集貨港，分別指派到軸心港，指派原則是每一個集貨港與最近的一個軸心港相連結，直到每個集貨港指派完畢。其次，處理集貨港與到軸心港的航行路徑，根據前文(5.4.2 節)的分析，迴圈與直達型態能創造最高承載率，因此，支線以此航行型態為基礎，其目的是符合求解支線的目標值(利潤最大化)，同時此值對應的，就是集貨港指派模式的最佳一組支線組合，包括集貨港指派及數量，以完成貨櫃子船的支線航線。依據前文 (6.2 節) 求解結果，有 4 個到 8 個軸心港的組合，將進入支線集貨港指派模式的求解。

我們以 4 個軸心港的其中一組 {3、4、6、11} 為例子，說明求解步驟，首先將這組內其餘的港口 (集貨港) {2、5、6、7、8、9、10}，按距離原則，指派給最近軸心港，港口指派型態是：{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6、{12}→11。其次對支線包含 2 個 (或以上) 的集貨港，以迴圈方式規劃子船的航行型態，因此軸心港 4 和軸心港 6 的支線採迴圈型態，而軸心港 3 和軸心港 11 各只有一個集貨港，採直航。最後求解這組的集貨港指派模式之目標值，得出值為 34.8803×10^6 ，如表 6-11 所示。其他不同港口位置的目標值，求解結果，依遞減排序為：{(3, 4, 6, 11)、(2, 3, 4, 11)、(3, 4, 7, 11)、(3, 4, 11, 12)、(3, 4, 11, 12)、(3, 4, 5, 11)、(3, 4, 10, 11)、(3, 4, 8, 11)}。以相同求解步驟，可解 5 個到 8 個軸心港的集貨港指派模式之目標值，整理如表 6-12~6-15。表 6-12~6-15 也顯示集貨港指派目標值與子船數量關係，即如果軸心港愈多，則子船數量愈少。表 6-16 顯示集貨港指派模式求解出各組最大目標值的排序。

表 6-11 設置 4 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

解	目標值 (10^6 美元)	軸心港位置	最佳集貨港指派	子船 艘數
1	34.8893	3, 4, 6, 11	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6、{12}→11	6
2	20.6635	2, 3, 4, 11	{1}→2、{5,6,7,8,9,10}→4、{12}→11	8
3	16.5469	3, 4, 7, 11	{1}→3、{2,5}→4、{6,8,9,10}→7、{12}→11	5
4	15.6017	3, 4, 11, 12	{1}→3、{2,5,6,7,8,9,10}→4	9
5	4.8501	3, 4, 5, 11	{1}→3、{2}→4、{6,7,8,9,10}→5、{12}→11	8
6	2.9833	3, 4, 10, 11	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,8,9}→10、{12}→11	6
7	1.2495	3, 4, 8, 11	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,9,10}→8、{12}→11	6

表 6-12 設置 5 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置	最佳集貨港指派	子船 艘數
1	35.8838	3,4,6,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6	6
2	24.6357	2,3,4,11,12	{1}→2、{5,6,8,9,10}→4	6
3	15.2040	3,4,7,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{6,8,9,10}→7	6
4	11.0949	3,4,5,11,12	{1}→3、{2,}→4、{6,7,8,9,10}→5	6
5	5.3596	3,4,10,11,12	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,8,9}→10	5
6	2.9631	3,4,9,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,10}→9	5
7	2.4883	3,4,8,11,12	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,8,9}→6	5

表 6-13 設置 6 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置	最佳集貨港指派	子船 艘數
1	11.1096	3,4,5,6,7,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7	3
2	4.5369	2,3,4,5,7,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{8,9,10}→7	3
3	3.9228	3,4,6,7,8,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{9,10}→8	3
4	1.3323	2,3,4,6,7,11,12	{1}→2、{5}→4、{6}→7、{8,9,10}→7	3
5	-2.6897	3,4,5,7,8,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{9,10}→8	4
6	-11.5760	2,3,4,7,8,11,12	{1}→2、{5}→4、{6}→7、{9,10}→8	4
7	-13.3584	3,4,5,7,10,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{8}→7、{9}→10	5

表 6-14 設置 7 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置	最佳集貨港指派	子船 艘數
1	11.1096	3,4,5,6,7,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7	3
2	4.5369	2,3,4,5,7,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{8,9,10}→7	3
3	3.9228	3,4,6,7,8,11,12	{1}→3、{2,5}→4、{9,10}→8	3
4	1.3323	2,3,4,6,7,11,12	{1}→2、{5}→4、{6}→7、{8,9,10}→7	3
5	-2.6897	3,4,5,7,8,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{9,10}→8	4
6	-11.5760	2,3,4,7,8,11,12	{1}→2、{5}→4、{6}→7、{9,10}→8	4
7	-13.3584	3,4,5,7,10,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{8}→7、{9}→10	5

表 6-15 設置 8 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

解	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置	最佳集貨港指派	子船 艘數
1	7.7633	2,3,4,5,6,7,11,12	{1}→2、{8,9,10}→7	2
2	0.9290	3,4,5,6,7,8,11,12	{1}→3、{2}→4、{9,10}→8	3
3	-5.4508	3,4,5,7,8,10,11,12	{1}→3、{2}→4、{6}→5、{9}→10	3
4	-5.7173	2,3,4,5,7,8,11,12	{1}→2、{6}→5、{9,10}→8	3
5	-7.9037	2,3,4,5,7,9,11,12	{1}→2、{6}→5、{8,10}→9	3
6	-9.6483	2,3,4,6,7,8,11,12	{1}→2、{5}→4、{9,10}→8	4
7	-16.9245	2,3,4,5,7,10,11,12	{1}→2、{6}→5、{8}→7、{9}→10	4

表 6-16 集貨港指派模式之各組最大目標值

目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港 數量	子船 數目	最佳集貨港指派
34.8803	4	6	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6、{12}→11
35.8838	5	5	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6
14.0186	6	3	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7
11.1096	7	3	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7
7.7633	8	2	{1}→2、{8,9,10}→7

表 6-17 實例之單一指派非嚴格海運軸輻路網模式各組最大目標值(10⁶ 美元)

軸輻路網模 式總目標值	軸心港位置 模式目標值	集貨港指派 模式目標值	軸心港 數量	最佳軸心港位置
75.8020	40.9127	34.8893	4	{3,4,6,11}
91.8068	55.9230	35.8838	5	{3,4,6,11,12}
82.5345	68.5159	14.0186	6	{3,4,6,7,11,12}
79.6691	68.5595	11.1096	7	{3,4,5,6,7,11,12}
76.3228	68.5595	7.7633	8	{2,3,4,5,6,7,11,12}

在軸心港數量固定下，軸心港位置模式和集貨港指派模式的目標值，兩者相加，得出值就是單一指派非嚴格海運軸輻路網模式的總目標值，其中最大目標值，有一組，此值意義：在利潤最大化目標下，最佳軸輻路網式的貨櫃船航線型態與規劃，決策包括主軸線與支線型態、軸心港個數和位置、集貨港指派，及母船航行頻次和子船數目。表 6-17 顯示軸輻路網模式最後求解的結果，最大目標值落在 5 個軸心港，港口是： $\{3,4,6,11,12\}$ ，支線指派型態是： $\{1\} \rightarrow 3$ 、 $\{2,5\} \rightarrow 4$ 、 $\{7,8,9,10\} \rightarrow 6$ ，港口 $\{11\}$ 和 $\{12\}$ 為單一軸心港，主軸線每艘母船每年航行 10 個頻次，支線上有 6 艘子船配合。其餘的目標值，依遞減排序是 6、7、8、4 個軸心港的組合。以本例的 12 港口背景求解結果，表示如果航商要規劃越太平洋航線，在追求最大利潤目標下，軸心港的最佳選擇為：香港、高雄、上海、洛杉磯、長堤，同時配合 3 個支線系統，而上海則是航線的最大支線系統。

綜合上述，本模式的求解過程發現：

1. 軸心港位置模式解出主軸線的最大利潤值，是船隊只停靠 6 個軸心港的規劃。此結果說明航商在規劃貨櫃船隊航線時，對停靠港口的選擇，並非數量愈多，利潤愈大；而是須衡量每增加一個停靠的港口，是否能帶給航線的邊際利潤，參考表 6-10。實務上，航商在停靠的港口是有長期性的契約，不易變動，因此港口的決定更謹慎，本研究軸心港位置模式能提供航商在最佳軸心港選擇的決策參考。
2. 雖然主軸線最大利潤值是 6 個軸心港，但航線總最大利潤值是 5 個軸心港。軸輻路網的總利潤是包括主軸線和支線的利潤，而非只考慮單一部分航線，因此集貨港指派的會改變利潤值，而影響軸心港位置選擇。此外，集貨港數量與利潤值有相關性，集貨港少的支線系統，相對地利潤較少，參考表 6-17。
3. 軸心港數量相同下，主軸線利潤高於支線利潤，此點現象說明軸輻路網系統的功能，即軸心港具備集中流量的特性，能降低單位運送成本，提供給貨櫃母船的規模經濟性，參考表 6-17。
4. 母船航行頻次和子船數目皆隨軸心港增加而減少，這點與實務上一致，當軸心港數量較多，則主軸線上航行距離長，因此貨櫃母船每年的往返頻次少，同時軸心港數量較多，相對地集貨港隨之較少，則支線上子船數目少。
5. 軸心港的獲選與該港口的起迄量、位置，及港埠成本有關係，流量愈大的港口，被模式選中軸心港的次數愈多；有集貨港指派愈多的港口，被選中軸心港次數愈多；港埠成本較低的港口，雖然流量不很高，但會有較多次被選為軸心港的機會。
6. 實例 12 港口求解結果，如圖 6-2，表示如果航商要規劃越太平洋航線，在追求最大利潤目標下，則主軸線由香港、高雄、上海、洛杉磯、長堤等 5 個軸心港組成，配合香港、高雄、上海為中心的支線系統，所形成的軸輻路網航線，而以 10 艘 6,000TEU 母船以每星期 1~2 的頻次，往返於主線上，及 6 艘 1,000TEU 子船於支線上航行。此軸輻路網航線與實務上航線系統相似，以亞洲-美國西岸航線為例，國內陽明海運的越太平洋國際貨櫃航線，在主軸線有母船往返停靠鹽田-高雄-上海-陽光-釜山-

洛杉磯-奧克蘭等 7 個港口，同時配有以高雄和上海為中心的區域接駁支線，即高雄-基隆-馬尼拉，上海-橫濱-東京-上海航線，此就是一組越太平洋的主軸與支線的軸輻路網系統。如果扣除主軸線上不同的停靠港口，本文在軸心港的選擇和支線系統建立略接近於實際。

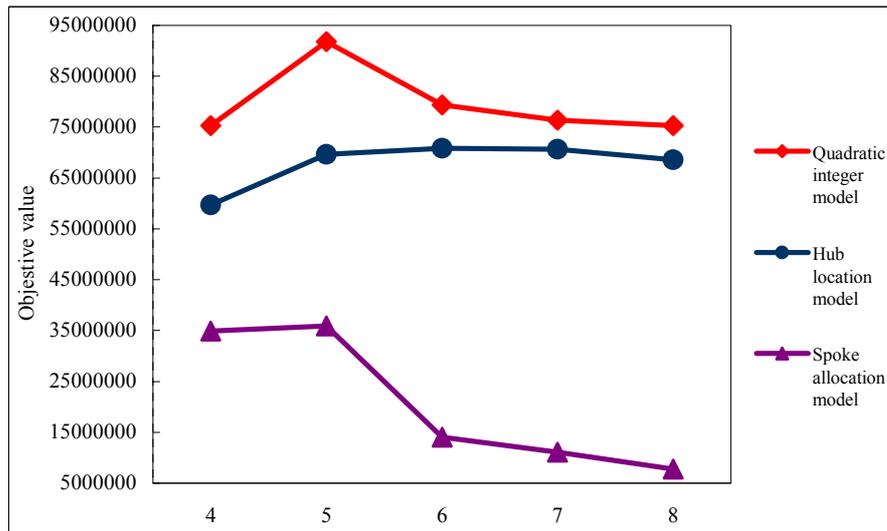


圖 6-1 包含軸心港位置模式與集貨港模式之總目標值變化圖

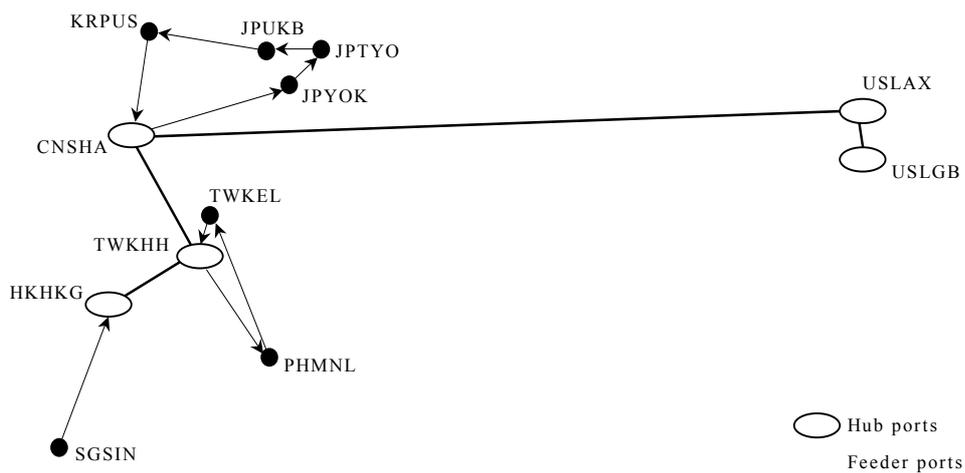


圖 6-2 越太平洋航線之最佳軸輻路網式貨櫃船航線圖

6.4 敏感度分析

本節的模式檢驗是想瞭解軸輻路網的總目標值與航線型態，是否會因假設條件變動而改變，前文模式 (5-1,5-7) 考慮的相關參數是運費、貨櫃承載量、港口費用，及燃油價格等。由於航線上的平均運價由市場供需機能決定的，非個別航商可改變的，所以本文不加以討論。前文雖已得知港口費用的不同，會影響到港口被獲選為軸心港的因素，本節仍調整一個港口的裝卸費和碇泊費的高低，以進一步確認其結果。因此，除了港口因素外，本節要討論的是：在其他因素不變之情況下，決定利潤因素之承載量與燃油價格的變動，對利潤及軸輻路網型的影響為何？

6.4.1 港口裝卸費與裝卸率變動分析

由於港埠業者競爭激烈，此項費用常會被調整以吸引更多航商停靠，前面所探討的軸輻路網模式，是假設港口裝卸費和碇泊費是已知且固定不變，如果此兩項有改變，是否最大目標值與航線型態也會受影響？為清楚比較，本文以上海港為對象，上海港的此項費用相對低廉，而能被評選為軸心港，現在調高其港口裝卸費和碇泊費，選用上海是軸心港的{3, 4, 6, 11, 12}這組，和上海不是軸心港{3, 4, 7, 11, 12}，二組之間對照，重新檢驗模式目標值，結果如表 (6-18) 所示。表 6-18 顯示當港口裝卸費和碇泊費增加，則主軸線與支線的最大利潤值都會減少，此表示其他條件不變下，港口費用與最大利潤值有負向關係存在，此點與實際現況一致。不過，港口費用改變對支線的影響較主軸線明顯，理由是軸輻路網的集貨港須以軸心港為轉運中心，以致增加貨櫃在軸心港的裝卸費與停靠費用，因此降低支線利潤。由表 6-18 看出當上海的港口裝卸費和碇泊費持續增加 30%，則{3, 4, 6, 11, 12}總目標值，從調整前 91.8068×10^6 減至 82.1237×10^6 ，低於{3, 4, 7, 11, 12}的 84.0867×10^6 ，表示上海不再被評選為軸心港，由釜山取而代之，成為最佳軸心港位置。此點發現應可以解釋，為何上海港近來能漸漸超越其他競爭港，而成為世界第三大貨櫃港。

表 6-18 上海港裝卸費及碇泊費變動之敏感度分析 (目標值：10⁶ 美元)

項目		軸心港位置	
		{ 3 , 4 , 6 , 11 , 12 }	{ 3 , 4 , 7 , 11 , 12 }
未調整前	軸心港位置模式 目標值	55.9230	69.9204
	集貨港指派模式 目標值	35.8838	15.2040
	總目標值	91.8068	85.1244
增加 10%	軸心港位置模式 目標值	55.5002	69.9204
	集貨港指派模式 目標值	32.8159	14.8307
	總目標值	88.3161	84.7511
增加 20%	軸心港位置模式 目標值	55.0969	69.9204
	集貨港指派模式 目標值	30.1230	14.4985
	總目標值	85.2199	84.4189
增加 30%	軸心港位置模式 目標值	54.6936	69.9204
	集貨港指派模式 目標值	27.4301	14.1663
	總目標值	82.1237	84.0867

6.4.2 承載率變動分析

前面所探討的軸輻路網模式，假設航線上之貨櫃承載率是已知且固定不變的。事實上，企業經營過程中存在諸多不確定因素，今假設貨櫃母船的承載率，與預先規劃產生差異，落差範圍介於 0.5 ~1.0 之間，因此為解瞭模式各方面的功能，現在以 4 個軸心港的組合為例子，對此問題進一步分析，觀察此對最大目標值與其對應航線型態的影響，求解結果如表 (6-19)。表 6-19 顯示當貨櫃承載率下跌，則最大利潤值減少，貨櫃承載率下跌至 0.7 時，則有些組合的最大目標值為負值，表示開始出現虧損。因此，當其他條件不變下，貨櫃承載率與最大利潤值有正向關係存在，此點與實際現況一致。另一方面，當貨櫃承載率下跌，對軸心港位置沒影響，最佳位置維持為 {3、4、11、12}。

表 6-19 承載率變動對軸心港位置模式之敏感度分析

承載率	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置 (p=4)	承載率	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置 (p=4)
1.0	59.0850	{3、4、11、12}	0.7	12.1098	{3、4、11、12}
	53.6831	{3、4、7、12}		5.7392	{3、4、7、12}
	45.1127	{3、4、5、11}		1.2391	{3、4、5、11}
	42.5074	{3、4、8、11}		-0.1323	{3、4、8、11}
	41.4117	{3、4、7、11}		-1.0932	{3、4、7、11}
	41.3218	{2、3、4、11}		-1.1983	{2、3、4、11}
	40.9127	{3、4、6、11}		-1.4398	{3、4、6、11}
0.9	43.2384	{3、4、11、12}	0.6	-3.6342	{3、4、11、12}
	37.3104	{3、4、7、12}		-1.0938	{3、4、7、12}
	28.3829	{3、4、5、11}		-1.39823	{3、4、5、11}
	27.2974	{3、4、8、11}		-1.40983	{3、4、8、11}
	27.0923	{3、4、7、11}		-1.5054	{3、4、7、11}
	27.0729	{2、3、4、11}		-1.5384	{2、3、4、11}
	26.3398	{3、4、6、11}		-1.5732	{3、4、6、11}
0.8	27.9628	{3、4、11、12}	0.5	-1.9673	{3、4、11、12}
	21.8085	{3、4、7、12}		-2.6069	{3、4、7、12}
	14.7329	{3、4、5、11}		-2.7983	{3、4、5、11}
	13.1290	{3、4、8、11}		-2.8229	{3、4、8、11}
	12.9980	{3、4、7、11}		-2.9081	{3、4、7、11}
	12.9832	{2、3、4、11}		-2.9517	{2、3、4、11}
	12.8291	{3、4、6、11}		-2.9987	{3、4、6、11}

6.4.3 燃油價格變動分析

前面模式假設燃油價格已知且固定不變，本節給定平均燃油價格在 200~300 美元區間，仍以 4 個軸心港的組合為例子，對此問題進一步分析，觀察其對最大利潤值，及其對應航線型態的影響。表 6-20 顯示當燃油價格上漲，則最大利潤值減少。因此，其他條件不變之下，燃油價格與最大利潤值有負向關係存在，此點與實際現況一致。另外，燃油價格的改變，不會對軸心港位置造成影響，最佳位置皆為{3、4、11、12}，各組順序維持不變。

表 6-20 燃油價格變動對軸心港位置模式之敏感度分析 (燃油價格：美元/公噸)

燃油價格	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置 (p=4)	承載率	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港位置 (p=4)
\$200	59.0850	{3、4、11、12}	\$260	45.0606	{3、4、11、12}
	54.6831	{3、4、7、12}		39.7434	{3、4、7、12}
	45.1127	{3、4、5、11}		28.9593	{3、4、5、11}
	42.5074	{3、4、8、11}		26.7835	{3、4、8、11}
	41.4117	{3、4、7、11}		26.7693	{3、4、7、11}
	41.3218	{2、3、4、11}		26.3238	{2、3、4、11}
	40.9127	{3、4、6、11}		26.1360	{3、4、6、11}
\$220	54.8102	{3、4、11、12}	\$280	40.1858	{3、4、11、12}
	40.0923	{3、4、7、12}		35.0822	{3、4、7、12}
	38.4824	{3、4、5、11}		24.2068	{3、4、5、11}
	36.4885	{3、4、8、11}		21.9446	{3、4、8、11}
	36.4615	{3、4、7、11}		21.9097	{3、4、7、11}
	36.0816	{2、3、4、11}		21.6317	{2、3、4、11}
	35.7080	{3、4、6、11}		21.1633	{3、4、6、11}
\$240	49.5401	{3、4、11、12}	\$300	35.3110	{3、4、11、12}
	44.0266	{3、4、7、12}		30.4221	{3、4、7、12}
	33.3264	{3、4、5、11}		19.4544	{3、4、5、11}
	31.3334	{3、4、8、11}		17.1056	{3、4、8、11}
	31.2302	{3、4、7、11}		17.0501	{3、4、7、11}
	30.7056	{2、3、4、11}		16.9395	{2、3、4、11}
	30.6355	{3、4、6、11}		16.1905	{3、4、6、11}

6.5 折扣係數模式求解

為進一步說明與測試模式，本文引用軸心港航段為實例，港口選擇考慮流量、地理因素，以亞太貨櫃航線的香港、高雄、橫濱，及洛杉磯四個港口為代表，其貨櫃量皆為世界貨櫃港前二十大。本文以海運市場上主要的航行貨櫃船型(1000~6000 TEU) 為比較對象，在兩兩港口間、不同船型之下，進行折扣係數的模式求解，並說明其經濟意義。模式求解步驟是：(1) 給定港口位置，(2) 估出貨櫃船型的各項運送成本，(3) 求解貨櫃船年總成本與單位運送成本，(4) 求解折扣係數。本文引用測試之各港口和船型相關資料，如表 6-21 和表 6-22 所示。

表 6-21 主要測試港口之相關資料

港口資料		香港	高雄	橫濱	洛杉磯
裝卸 20 呎貨櫃 (元/次)		3,740	3,298	5,769.28	3,635.52
裝卸櫃率 (TEU/船噸位)		0.074	0.041	0.024	0.027
靠港時間 (小時)		24	35	21	68
港口油價 (元)		54,78.33	5,249.33	5,210.67	5,480
港埠費用 每船每小 時 (元)	1000 TEU	1,532.38	1,890	3,048.50	2,520
	2000 TEU	3,418.38	2,958	6,214.25	3,944
	3000 TEU	4,597.13	2,958	9,145.50	3,944
	4000 TEU	5,952.69	3,944	11,842.25	5,258.67
	5000 TEU	7,661.88	5,916	14,539.00	7,888
	6000 TEU	9,194.25	5,916	17,353.00	7,888

(備註：港元/新台幣平均值 4.3 表示，美元的匯率以平均值 33 來計算)

(資料來源：香港海事處，高雄港務局，橫濱港，洛杉磯港，本研究整理)

表 6-22 不同貨櫃船型之船舶規格表

主要規格	1000 TEU	2000 TEU	3000 TEU	4000 TEU	5000 TEU	6000 TEU
船長 (公尺)	155	200.0	268.8	270	277.35	300
船寬 (公尺)	25	27.0	32.2	36.0	40.0	42.8
船深 (公尺)	13.9	15.2	19.7	22.0	24.0	25.0
吃水 (公尺)	8.4	9.4	11.5	12.0	14.0	15.0
載重噸 (噸)	13,000	26,500	39,000	50,500	62,000	74,000
營運船速 (節)	17	19	20.5	23	24.9	26.5
航行耗油量(噸/天)	30	65	88.5	160	185	220

(資料來源：中船造船廠，91 年，本研究整理)

表 6-23 香港與高雄港間之折扣係數值

船型	2000 TEU	3000 TEU	4000 TEU	5000 TEU	6000 TEU
1000 TEU	0.963	0.929	0.897	0.857	0.851
2000 TEU	*	0.947	0.910	0.884	0.868
3000 TEU	*	*	0.954	0.927	0.902
4000 TEU	*	*	*	0.952	0.936
5000 TEU	*	*	*	*	0.967

(資料來源：本研究整理)

表 6-24 香港與洛杉磯兩港間之折扣係數值

船型	2000 TEU	3000 TEU	4000 TEU	5000 TEU	6000 TEU
1000 TEU	0.835	0.723	0.667	0.612	0.568
2000 TEU	*	0.876	0.801	0.717	0.665
3000 TEU	*	*	0.912	0.828	0.775
4000 TEU	*	*	*	0.901	0.832
5000 TEU	*	*	*	*	0.914

(資料來源：本研究整理)

表 6-25 香港-高雄港承載率變化之折扣係數值 (直行:1000TEU, 縱行 5000TEU)

承載率	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.857	0.426	0.284	0.218	0.165	0.154	0.128	0.101	0.091	0.081
0.2	*	0.857	0.492	0.432	0.332	0.278	0.244	0.208	0.187	0.168
0.3	*	*	0.857	0.599	0.514	0.447	0.324	0.312	0.271	0.252
0.4	*	*	*	0.857	0.678	0.542	0.432	0.411	0.354	0.332
0.5	*	*	*	*	0.857	0.711	0.621	0.532	0.433	0.421
0.6	*	*	*	*	*	0.857	0.732	0.622	0.542	0.504
0.7	*	*	*	*	*	*	0.857	0.732	0.648	0.601
0.8	*	*	*	*	*	*	*	0.857	0.721	0.639
0.9	*	*	*	*	*	*	*	*	0.857	0.742
1.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.857

(資料來源：本研究整理)

表 6-23 顯示在香港與高雄港間的航段上，以不同貨櫃船型所估出的折扣係數值，折扣係數模式 (5-17) 的分子，是大型船的單位運送成本，分母是小型船，而大型貨櫃船的單位運送成本較小型船的低，且此差距是隨著大型船的增大而增加，換而言之，折扣係數值會隨船型大小差距而出現不一，此點發現支持本文前面的推論，而運送成本的不同應是造成此現象的主要理由之一。表 6-23 折扣係數值的散佈在 0.851~0.967 之間，大小值表示不同船型運送的經濟效益，此值介於 0~1 之間，愈小則規模經濟效益愈大。以折扣係數值 0.851 為例，此值是 6000TEU 和 1000TEU 的單位運送成本比值，小於 1，表示規模經濟存在。此意涵其他條件不變之下，假設航商以 6000TEU 的船型航行於香港與高雄港間，則每單位貨櫃成本可較 1000TEU 節省約 (1-0.851)%。

如航線上港口變動，則兩港口間之折扣係數值，按前述求解過程，得出如表 6-24。比照表 6-23 和表 6-24，顯示折扣係數值與航行距離長、短有關，當船型固定時，折扣係數值隨著兩港距離增加而減小，以香港至高雄港為例，如香港延至洛杉磯時，則其折扣係數值，從 0.869 降為 0.612。此現象主要理由是，貨櫃船的航行距離增長時，變動成本會增加，因此單位運送成本也增加；但大型船的承載量較大，平均分擔變動成本的增

加，因此其單位運送成本增加（比率），比小型船低。因此，如兩港間的航行距離增加時，折扣係數值會減小；也就是說，在其他條件不變之下，航商以大型貨櫃船規劃於遠洋航線，相較於小型貨櫃船，更能享有規模經濟效益。

本文模式發現的折扣係數值受船型和港口距離影響的現象，是假設在承載率固定之下的求解結果。但如果貨櫃船的承載率變動，折扣係數是否不受影響？接下來，我們針對此點進行承載率的敏感度分析。為方便分析，本文以 5000TEU 和 1000TEU 船型做為觀察對象，針對香港、高雄兩港口間的貨櫃船承載率變化，進行模式測試，整理得出折扣係數，如表 6-25 所示，如表中的值 0.081，即表示是在 1000TEU 船型的承載率為 0.1，5000TEU 為 1，所求得的折扣係數值。表 6-25 顯示出，當大、小型船的承載率出現相同時，折扣係數為 0.857，此值組成的對角線的右部份，折扣係數才存在，小於 1，此表示當大型船的承載率低於小型船時，折扣係數將不存在；隨著大型船的承載率漸漸高時，折扣係數將愈來愈小，直到 0.081。此現象的理由同上述分析。

6.6 小結

本文運用海運軸輻路網模式，包括軸心港位置模式和集貨港模式，在給定母船數量與子船船型、運費、貨櫃流量、裝卸費用、裝卸率、承載率、燃油價格，及營運成本等相關資料，以越太平洋航線為航線區域，測試及分析航商在追求利潤最大目標下，如何完成軸輻路網式的貨櫃船隊航線的規劃。在市場需求固定及滿足前提下，依據實例求解結果，本研究得到下列結論：

1. 軸心港位置模式證實為嚴格遞增函數，存在唯一全域確切解，此反應出軸心港數量和利潤有規模經濟性，表示主軸線利潤先隨軸心港數量增加而增加，直到臨界值達最高，之後則隨著軸心港數量增加而遞減。例如，在主軸線以 6,000 TEU 測試，得出最佳靠港數量是 6 個軸心港，此能帶航商最大利潤，而並非港口愈多，利潤愈大。
2. 貨櫃流量愈多的港口，被評選為軸心港的機率愈高，即具備足夠的貨櫃流量是港口成為軸心港的必要條件；碇泊費用與裝卸櫃費用愈低的港口，成為軸心港的機率也愈高；此外，港口位置也是評選為軸心港的重要因素，即靠近區域轉運中心的港口，較容易吸引鄰近貨源。
3. 船隊承載能力和燃油價格的高低，會改變軸輻路網航線的總利潤，但不影響到最適軸輻路網航線的設計。
4. 軸心港位置的選擇能決定集貨港的指派；集貨港的指派不僅會改變軸心港數量與位置，且能改變總利潤與軸輻路網式的航線設計；最佳軸輻路網航線的設計，須考量主線與支線、軸心港位置、集貨港指派，及航行型態的彼此互動關係。
5. 兩軸心港距離固定下，折扣係數值隨貨櫃船型增加而減小；在船型固定下，折扣係數值隨兩軸心港之距離增加而減小。當大型船的承載率低於小型船時，折扣係數將

不存在，折扣係數反應出承載率對船舶規劃的重要性，雖然大型船能給航商帶來規模經濟效益，但須先取決其市場的承載能力。



第七章 結論與建議

本篇論文主要應用軸輻路網模式與架構，描述海運貨櫃船隊之定期航線規劃與型態，包括對軸心港位置問題、集貨港指派問題，及最適船型問題進行分析。對此議題，本文分析的角度，從軸輻路網系統介紹，如何適用於海運系統、最適化船型決策與預測、軸心港條件與選擇、軸輻路網式航線設計、折扣係數模式、演算法發展，到實例說明結束。研究結果顯示：單一指派非嚴格型的海運軸輻路網模式，能解決航線規劃問題，且具有提供航商在軸輻路網航線設計之參考價值；其次，最適船型與船速模式，釐清船速影響及船型發展，能提供航商在船舶航行之決策參考。本章綜合本篇論文的研究主題、研究假設與範圍、分析與討論，與研究發現，歸納整個研究重點，最後以研究結論、未來研究建議，及研究貢獻三方面，整理做如下說明：

7.1 研究結論

首先，就貨櫃船隊航線規劃問題的分析上，本篇論文主要發現：

1. 船舶航線模式主要在解決船舶靠港順序的問題，這類研究不考慮網路式的型態，無法分析貨櫃船大型化後，面臨的港口選擇與航線規劃的新問題。就此問題的解決角度，應用軸輻路網式的架構，分析軸心港為轉運中心的趨勢，進而處理海運航線規劃，應較適合於航線問題的特性描述。
2. 軸心港位置與數量的決策，是軸輻路網航線設計的首要關鍵。軸心港位置模式是嚴格遞增函數，存在唯一全域確切解，此圖形反應出軸心港數量和利潤存有規模經濟性，表示主軸航線的利潤，先隨軸心港數量增加而增加，到臨界值達最高點，之後隨著軸心港數量增加而遞減。貨櫃船隊在停靠港口數量的決策，並非是多港、多利潤的規劃，而須考量每增靠一個港口的邊際貢獻。
3. 集貨港與軸心港的指派和支線航線選擇，不僅會改變原先的軸心港位置與數量決策，且能改變軸輻路網式的航線設計與利潤。軸輻路網航線的設計，是程序性的決策過程；但在整體上，如欲達到最佳化的規劃，則仍須兼顧到主線與支線、軸心港位置、集貨港指派，及航行型態等之間的彼此互動，而非單因素的決策行為。
4. 貨櫃流量、碇泊費，與裝卸費，能作為觀察具備軸心港條件的有利因素。在其他條件相同下，擁有較大的貨櫃流量，或提供低碇泊費與裝卸費的港口，比較容易獲選成為軸心港。此外，貨櫃船的承載能力和燃油價格，會影響航線的經營利潤，但不會改變最適軸輻路網航線的設計。貨櫃船隊在停靠港口位置的決策，尤其在兩相鄰的港埠時，應考慮港口能提供給航商的條件為前提，而不是船隊本身競爭力。
5. 折扣係數反應出承載率對船舶規劃的重要性，此值會受到軸心港距離及船型的影響。當軸心港距離愈遠，或貨櫃船型愈大，則折扣係數值愈小；大型船的承載率

低於小型船時，折扣係數將不存在。雖然大型船能給航商帶來規模經濟效益，但須先取決其市場的承載能力。此結論與軸輻路網模式一致性。

其次，對最適貨櫃船型問題的分析，本篇論文主要發現：

1. 在市場需求滿足前提下，船速對貨櫃船航線經營存有最適抵換區間，在規模區間之外的船速，將導致貨櫃船的航行成本高過於收入，反而不利於航商；高造船成本使大型貨櫃船的投資報酬率，不如中型貨櫃船。對遠洋航線而言，航商利用大型化貨櫃船經營，相較小型船，有益於利潤增加。
2. 市場運量、碼頭工時、港埠效率、兩港距離，及燃油價格，會影響最適船型和船速決策。當市場運量減少時，最適船型傾向小、船速快，而獲得利潤減少；當碼頭工時減少時，最適船型不改變、船速略慢，獲得利潤會減少；當港埠效率或兩港距離增加時，最適船型傾向大、船速快，獲得利潤也增加；當燃油價格上漲時，最適船型傾向大、船速慢，獲得利潤減少。這些改變都不背離最適船型與船速的經濟特性。

7.2 未來研究建議

1. 本篇論文在貨櫃船隊航線的持性下，建立海運軸輻路網模式，分析與求解航線的規劃問題。實務上，在非完全路網下，貨櫃船在主軸線可能選擇其他航行方式，而非依序往返，就此議題，未來研究可以軸心港位置模式為基礎，再結合傳統模式，分析主軸線的航行型態。
2. 在單一指派原則下，當兩軸心港距離相差不遠時，將集貨港指派給較近的軸心港的作法，對海運而言，可能並非是最佳的指派方式，後續研究觀察多重指派，對軸心港選擇或航線的影響。
3. 在非嚴格型路網下，本研究選擇迴圈方式，作為支線航行基礎。雖然此航線的承載量較大，但無法保證能創造最大利潤，後續研究可分析航行路徑不同對支線系統的影響。此外，折扣係數與支線的型態應有關係，但在本文中以定值處理，此是後續發展大型支線路網時，值得研究的問題。
4. 對最適船型問題，本模式以單一貨櫃船航行於固定航線，進行測試。因此，未來仍有研究空間，例如，加入航行頻次與靠港數量的限制，或擴大以整個船隊的規模進行分析。船型與船速，在某些範圍可能有相關性，此統計特性是否會影響到研究結論，也有待後續釐清。其次，考慮最適船型模式與配合結合軸輻路網問題，可分析主線及支線的最適船型規劃，及不同船型對軸心港選擇的影響性。

7.3 研究貢獻

1. 非完全路網、單一指派，及非嚴格路網是貨櫃船定期航線的特性，本研究建構的

軸輻路網模式，主要特色是納入這些特性於限制式內，能合適地表現出海運系統的全貌。其次，本研究分析的問題內涵，有別於航空模式的侷限，分析上較具深入與價值性。軸心港位置模式，描述航商對軸心港的選擇行為；集貨港指派模式，反應出海運接駁轉運的航行特色。

2. 本研究設計的軸輻路網式航線規劃的步驟，進行如下：(1)在航行區域內的港口中，決定軸心港數量與位置，(2)決定主軸線航段，及航行型態，(3)規劃集貨港指派及原則，並完成支線系統，(4)選擇支線系統的航行型態，(5)調整主軸線與支線的航行路徑組合，(6)決定最適的軸輻路網式航線。第(1)、(4)，及(5)項，是其他軸輻路網模式沒有的，此是針對海運系統分析上必要而補充的。藉由此機制，模式決策出整體航線最佳化。
3. 本研究模式以 Hsieh and Wong (2004) 模式為基礎，但修正軸心港位置模式內的軸心港航行成本、支線迴圈的航行距離，及母船與子船的年航行次數式；其次，在集貨港指派模式內，增加集貨港航線選擇處理，分析支線港口指派與航線型態，以決策指派基礎。藉此補充，使模式分析更完整與嚴謹。
4. 本研究首先應用貨櫃船型成本模式，分析軸輻路網折扣係數的經濟效益，實際上，折扣係數會受某些變數的影響，過去文獻不探討此係數，在模式內以定值求解問題的作法，容易導致偏差，而影響軸心港位置的決策。本文分析的結果，確認出折扣係數存在與範圍，並釐清折扣係數值的差異性。
5. 本研究以船速和船型分析貨櫃船型問題，是新的研究途徑。過去文獻把船速視為定值處理，此做法容易導致不適合的船舶航行決策。為求研究的完整性，本文的最適貨櫃船型和船速模式，具備的特色：(1)不僅分析成本面，且擴及收益面，較符合航商實際的決策行為；(2)以追求利潤最大為目標，目標式為嚴格凸向上函數，存在唯一的全域最佳解，可預測船型發展；(3)不僅考慮船型，且納入船速，可分析兩變數，及單變數改變，對目標值的影響，較以往研究有價值。

參考文獻

1. 王賢崙、許惠淑，「軸輻路網折扣係數之經濟效益分析」，第7屆中小企業管理研討會，國立中正大學企業管理研究所，頁382-391，民國95年。
2. 宋尅俊，「以利潤最大化為目標之貨櫃船定線模式」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國91年。
3. 林永山，「我國定期航線運量分析與船隊最適規模研究」，國立台灣海洋大學航運管理學系碩士論文，民國86年。
4. 吳偉銘，「國籍貨櫃航商船舶大型化之績效研究」，航運季刊，第11卷3期，頁51-62，民國91年。
5. 吳偉銘、范迪蔚，「貨櫃船舶大型化對海運市場之影響—以國際貨櫃航商為例」，航運季刊，第10卷3期，頁1-14，民國90年。
6. 許巧鶯、謝幼屏，「貨櫃海運航線之船型與頻次決策研究」，中華民國運輸92年年會暨第18屆學術論文研討會。
7. 陳冠州，「貨櫃船隊經濟配置與經營計畫最佳調配之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國75年6月。
8. 陳春益、張永昌，「航商選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討」，國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學，第7卷3期，頁438-444，民國86年。
9. 陳春益、邱明琦，「貨櫃航線路網設計模式之研究」，運輸計劃季刊，第31卷2期，頁267-298，民國91年。
10. 高橋宏直，日本港灣協會港灣雜誌，第73卷5期，民國85年。
11. 郭重佑，「以利潤最大化為目標之最適貨櫃船型模式之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國92年。
12. 彭信坤，「貨櫃船隊船型配置及航線選擇方案之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國71年。
13. 董孝行，「貨櫃船最適船型之研究」，運輸計劃季刊，第15卷3期，頁435-459，民國75年。
14. 盧華安，「定期貨櫃航線設計之研究」，運輸計劃季刊，第31卷1期，頁121-142，民國91年。
15. 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30卷3期，頁577-602，民國90年。
16. 謝尚行、王賢崙，「貨櫃船最適船型的理論與實務探討」，中華民國運輸學會89年年會暨第15屆學術論文研討會，頁755-764，民國90年。
17. 謝尚行、王賢崙，「最適貨櫃船型與船速之非線性規劃模式」，運輸學刊，第8卷1期，頁1-26，民國95年。
18. 謝尚行、王賢崙、宋尅俊，「以利潤最大化為目標之貨櫃船隊定線模式」，中華民國運輸學會91年年會暨第17屆學術論文研討會，頁95-104，民國91年。
19. 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路網模式」，

- 中華民國運輸學會 90 年年會暨第 16 屆學術論文研討會，頁 891-899，民國 90 年。
20. 謝尚行、張斐茹，「軸輻路網模式在國際定期貨櫃船航線之應用」，運輸計劃季刊，第 30 卷 4 期，頁 871-890，民國 90 年。
 21. 交通部運輸研究所，台灣地區發展空運中心之可行性研究，民國 86 年。
 22. Aykin, T., "On a Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research* 46, pp. 409-411 (1990).
 23. Aykin, T., "Lagrangian Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub-and-Spoke Network Design Problem," *European Journal of Operational Research* 79, pp. 501-523 (1994).
 24. Aykin, T., "Networking Policies for Hub-and-Spoke Systems with Applications to the Air Transportation System," *Transportation Science* 29, pp. 201-221 (1995).
 25. Azaron, A. and Kianfar, F., "Dynamic Shortest Path in Stochastic Dynamic Network: Ship Routing Problem," *European Journal of Operational Research* 144, pp. 138-156 (2003).
 26. Bradley, S. P., Hax, A. C. & Magnanti, T. L., "Planning the Mission and Composition of the U.S. Merchant Marine Fleet," Applied Mathematical Programming, Addison-Publishing Company, 1977.
 27. Boland, N., Krishnamoorthy, M., Ernst, A.T., and Ebery, J., "Preprocessing and Cutting for Multiple Allocation Hub Location Problems," *European Journal of Operational Research* 155, pp. 638-653 (2004).
 28. Buxton, I.L., "Fuel Costs and Their Relationship with Capital and Operating Costs," *Maritime Policy and Management*, Vol.12, No.1, pp. 47-54. (1985)
 29. Bryan, D.L. and O'Kelly, M.E., "Hub-and-Spoke Network in Air Transportation: An Analytical Review," *Journal of Regional Science* 39(2), pp. 275-295 (1999).
 30. Campbell, J.F., "Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems," *European Journal of Operational Research* 72, pp. 387-405 (1994).
 31. Campbell, J.F., "Hub Location Problems and the p -Hub Median Problem," *Operations Research* 44, pp. 923-935 (1996).
 32. Chadwin, M.L., Pope, J.A., and Talley, W.K., *Ocean Container Transportation: An Operational Perspective*. New York: Taylor and Francis, Inc (1990).
 33. Cho, S.C. and Perakis, A.N., "Optimal Liner Fleet Routing Strategies," *Maritime Policy and Management* 23(3), pp. 249-259 (1996).
 34. Christiansen, M. and Nygreen, B., "A Method for Solving Routing Problems with Inventory Constraints," *Annals of Operations Research* 81, pp. 357-378 (1998).
 35. Chu, C.W., Kuo, T.C., and Shieh, J.C., "A Mixed Integer Programming Model for Routing Containerships," *Journal of Marine Science and Technology* 11(2), pp. 96-103 (2003).
 36. Containerisation International Yearbook (1999~2005), London: Informa UK Ltd.
 37. Cullinane K. and Khanna M., "Economies of Scale in Large Container Ships," *Journal of*

- Transport Economics and Policy* Vol.33, Part 2, pp.185-208, 1999.
38. Drewry Shipping Consultants (1995), *Multi-Purpose Cargo Ships*-London, Drewry Shipping Consultants.
 39. Ebery, J., Krishnamoorthy, M., Ernst, A. T., and Boland, N., "The Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problem: Formulations and Algorithms," *European Journal of Operational Research* 120, pp. 614-631 (2000).
 40. Ernst, A.T. and Krishnamoorthy, M., "Efficient Algorithms for the Uncapacitated Single Allocation p -Hub Median Problem," *Location Science* 4, pp. 139-154 (1996).
 41. Ernst, A.T. and Krishnamoorthy, M., "Exact and Heuristic Algorithms for the Uncapacitated Multiple Allocation p -Hub Median Problem," *European Journal of Operational Research* 104, pp. 100-112 (1998).
 42. Fagerholt K., "Optimal Fleet Design in a Ship Routing Problem," *International Transactions in Operational Research* 6, pp.453-463 (1999).
 43. Flynn, J and S. Ratick., "A Multiobjective Hierarchical Covering Model for the Essential Air Services Program," *Transportation Science*, 22, pp.139-147 (1988).
 44. Gilman, S., *Container Logistics and Terminal Design*. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development (1981).
 45. Hsieh, S.H. and H. L. Wong, "A Marine Hub-and-Spoke Network Model Allowing the Feeder Ports Not to Directly Connect to Hub Ports," Paper Presented at the Transportation Research Board Annual (TRB) 82nd Meeting, National Research Council, Washington, DC (2003).
 46. Hsieh, S. H. and H. L. Wong, "The Marine Single Assignment Nonstrict Hub location Problem: Formulation and Experimental Examples," *Journal of Marine Science and Technology* 12, pp. 343-353 (2004).
 47. Hsieh, S. H. and H. L. Wong, "The Effect of Feeder Route Arrangement to Interhub Linkage in Marine Hub-and-Spoke Networks," *WSEAS TRANSACTIONS on Business and Economics* 3, pp.163-168 (2006).
 48. Hsu, C. I. and Y. P. Hsieh, "Direct Versus Terminal Routing on a Marine Hub-and-Spoke Container Network," *Journal of Marine Science and Technology* 13, pp. 209-217 (2005).
 49. Jansson, J. O. and Shneerson, D., "The Optimal Ship Size," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 16, No. 3, pp. 217-38 (1982).
 50. Jansson, J. O. and Shneerson, D., "A Model of Scheduled Liner Freight Services: Balancing Inventory Cost against Ship Owner's Costs," *The Logistics and Transportation Review*, Vol. 21, No. 3, pp. 195-215 (1985).
 51. Jaramillo, D.I. and Perakis, A.N., "Fleet Deployment Optimization for Liner Shipping. Part 1: Background, Problem Formulation and Solution Approaches," *Maritime Policy and Management* 18, pp. 183-200 (1991).
 52. Jeng, C.Y., "Routing Strategies for an Idealized Airline Network," Ph.D. dissertation, University of California-Berkeley (1987).

53. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "On the Single-Assignment p -Hub Center Problem," *European Journal of Operational Research* 125, pp. 648-655 (2000).
54. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations," *Journal of Operational Research Society* 54, pp. 59-64 (2003).
55. Klincewicz, J.G., "Heuristics for the p -Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 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 Operations Research* 40, pp. 283-302 (1992).
57. Klincewicz, J.G., "A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem," *Location Science* 4, pp. 173-184 (1996).
58. Kuby, M.J. and R, Gray, "The Hub Network Design Problem with Stopovers and Feeder: The case of federal Express," *Transportation Research A*, 27, pp.1-12 (1993).
59. Lane, D.E., Heaver, T. D. and Uyeno. D., *Planning and Scheduling for Efficiency in Liner Shipping, Networks*, 1981.
60. Lim, S.D., "Economies of Container Ship Size: A New Evaluation," *Maritime Policy and Management*, Vol.21, No.2, pp.149-160 (1994).
61. Lloyd's Shipping Economist (2002), Informa Maritime & Transport, London, UK.
62. Lu, H.A., "Modelling Ship's Routing Bounded by the Cycle Time for Marine Liner," *Journal of Marine Science and Technology* 10(1), pp. 61-67 (2002).
63. McLellan, R.G. "Bigger Vessel: How big is Bigger?" *Maritime Policy and Management*, Vol.24, No.2, pp.193-211 (1997).
64. Mourao, M.C., Pato, M.V., and Paixao, A.C., "Ship Assignment with Hub-and-Spoke Constraints," *Maritime Policy and Management* 29 (2), pp. 135-150 (2002).
65. O'Kelly, M.E., "Hub Facility Location with Fixed Costs," *Journal of Regional Science* 71(3), pp. 293-306 (1992).
66. O'Kelly, M.E., Skorin-Kapov, D., and Skorin-Kapov J., "Lower Bounds for the Hub Location Problem," *Management Science* 41(4), pp. 713-721 (1995).
67. O'Kelly, M.E., Bryan, D.L., Skorin-Kapov, D., and Skorin-Kapov J., "Hub Network Design with Single and Multiple Allocations: A Computational Study," *Location Science* 4(3), pp. 125-138 (1996).
68. O'Kelly, M.E. and Miller, H.J., "The Hub Network Design Problem: a Review and Synthesis," *Journal of Transport Geography* 2(1), pp. 31-40 (1994).
69. Olson, C. A., Sorenson, E. E. and Sullivan, W. J., *Medium Range Scheduling for a Freighter Fleet*. *Operations Research*, 17, 565-582, 1969.
70. Pamuk, F.S. and Sepil, C., "A Solution to the Hub Center Problem via a Single-Relocation Algorithm with Tabu Search," *IIE Transactions* 33, pp. 399-411(2001).
71. Parker, R.G. and Rardin, R.L., "An Overview of Complexity Theory in Discrete Optimizations: Part I. Concepts," *IIE Transactions* 14 (1), pp. 3-10 (1982a).

72. Parker, R.G. and Rardin, R.L., "An Overview of Complexity Theory in Discrete Optimizations: Part II. Results and Implications," *IIE Transactions* 14 (2), pp. 83- 89 (1982b).
73. Rana, K. and Vickson, R.G., "A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of A Time-Charted Containership," *Transportation Science* 22, pp. 83-95 (1988)
74. Rana, K. and Vickson, R.G., "Routing Containerships Using Lagrangian Relaxation and Decomposition," *Transportation Science* 25, pp. 201-214 (1991).
75. Robin, R., "Asian Hub/Feeder Nets: the Dynamics of Restructuring," *Maritime Policy and Management* 25 (1), pp. 83-95 (1998).
76. Ronen, D., "Ship Scheduling: The Last Decade," *European Journal of Operational Research* 71, pp. 325-333 (1993).
77. Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J., "On Tabu Search for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research* 73, pp. 502-509 (1994).
78. Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., and O'Kelly, M. E., "Tight Liner Programming Relaxations of Uncapacitated p -Hub Median Problems," *European Journal of Operational Research* 94, pp. 582-593 (1996).
79. Sohn, J. and Park, S., "A Linear Program for the Two-Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 100, pp. 617-622 (1997).
80. Sohn, J. and Park, S., "Efficient Solution Procedure and Reduced Size Formulations for p -Hub Location Problems," *European Journal of Operational Research* 108, pp. 118-126 (1998).
81. Talley, W.K., "Optimal Containership Size," *Maritime Policy and Management*, Vol.17, No3, pp165-175 (1990).
82. Viton, P. A. (1981), "A Translog Cost Function for Urban Bus Transit," *Journal of Industrial Economics*, Vol. 29, No. 3, pp. 287-304.

附 錄

表 1 越太平洋航線港口之貨櫃運價矩陣(單位：美元/TEU)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	500	500	400	400	430	450	650	650	650	1200	1250
馬尼拉	730	0	400	500	500	650	510	800	800	800	1150	1200
香港	250	300	0	300	300	300	300	600	600	600	1100	1100
高雄	250	300	250	0	100	330	300	600	600	600	1100	1100
基隆	250	300	250	100	0	330	300	600	600	600	1100	1100
上海	300	720	250	250	450	0	380	300	300	300	1000	1000
釜山	250	300	300	350	350	350	0	350	350	350	1200	1200
神戶	500	400	550	520	520	350	360	0	150	150	1000	1000
橫濱	500	400	550	520	520	350	360	150	0	150	1000	1000
東京	500	400	550	520	520	350	360	150	150	0	1000	1000
洛杉磯	1100	1100	1000	1000	1000	1150	1100	1000	1000	1000	0	200
長堤	1200	1150	1000	1000	1000	1150	1100	1000	1000	1000	200	0

(資料來源：1.國內兩家海運公司，簡稱Y航商及W航商提供；2. Containerisation International, 2004。)

表 2 越太平洋航線港口之貨櫃運量矩陣(單位：TEU)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	110	300	216	46	285	200	46	45	75	172	121
馬尼拉	70	0	82	50	16	40	37	15	16	20	22	27
香港	400	66	0	244	51	120	200	102	52	85	194	137
高雄	243	29	283	0	22	140	126	43	22	37	84	59
基隆	55	7	64	24	0	30	29	15	15	19	19	14
上海	250	36	310	135	28	0	161	29	28	47	107	76
釜山	254	33	280	124	26	160	0	26	26	43	99	70
神戶	56	10	66	25	10	30	29	0	10	12	20	14
橫濱	55	10	64	24	10	30	28	10	0	15	19	14
東京	90	10	105	39	10	52	47	19	15	0	31	22
洛杉磯	100	23	200	86	18	110	102	19	18	30	0	48
長堤	120	15	149	56	12	75	67	12	12	20	44	0

(資料來源：1.國內兩家海運公司，簡稱Y航商及W航商提供； 2. Containerisation International, 2004。)



表 3 貨櫃母船在港口之航行時間 (單位：小時)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	54	59	65	72	88	101	108	116	117	315	326
馬尼拉	54	0	26	22	30	46	57	63	71	71	262	273
香港	59	26	0	14	19	33	46	55	64	64	256	267
高雄	65	22	14	0	9	24	39	45	54	54	245	256
基隆	72	30	19	9	0	17	29	35	46	46	236	247
上海	88	46	33	24	17	0	20	32	42	42	233	244
釜山	101	57	46	39	29	20	0	15	27	28	210	221
神戶	108	63	55	45	35	32	15	0	15	16	208	219
橫濱	116	71	64	54	46	42	27	15	0	1	194	205
東京	117	71	64	54	46	42	28	16	1	0	195	206
洛杉磯	315	262	256	245	236	233	210	208	194	195	0	11
長堤	326	273	267	256	247	244	221	219	205	206	11	0

(資料來源：1.港口之經緯度資料：利用 Guide Port Entry 與 Marine Atlas 的海圖資料查詢與計算各港間距離。
2.貨櫃母船航速以 25 節為基準。)

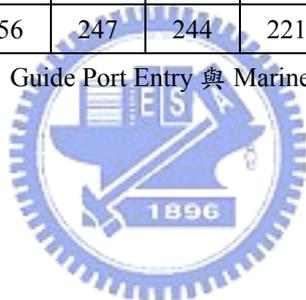


表 4 貨櫃子船在港口間之航行時間(單位：小時)

迄 起	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
新加坡	0	79	86	96	107	129	148	159	171	171	463	480
馬尼拉	79	0	38	32	43	67	83	92	104	105	384	401
香港	86	38	0	21	28	48	67	81	94	194	376	393
高雄	96	32	21	0	14	36	48	66	79	80	360	377
基隆	107	43	28	14	0	24	43	57	67	68	349	366
上海	129	67	48	36	24	0	27	46	61	62	342	359
釜山	148	83	67	48	43	29	0	22	39	40	308	325
神戶	159	92	81	66	57	46	22	0	21	22	305	322
橫濱	171	104	94	79	67	61	39	21	0	2	285	302
東京	171	105	94	80	68	62	40	22	2	0	286	303
洛杉磯	463	384	376	360	349	342	308	305	285	286	0	17
長堤	480	401	393	377	366	359	325	322	302	303	17	0

(資料來源：1.港口之經緯度資料：利用 Guide Port Entry 與 Marine Atlas 的海圖資料查詢與計算各港間距離。
2.貨櫃子船航速以 17 節為基準。)

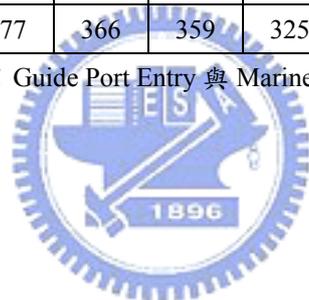


表 5 越太平洋航線上港口相關費用資料

港口 項目	新加坡	馬尼拉	香港	高雄	基隆	上海	釜山	神戶	橫濱	東京	洛杉磯	長堤
位置編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1000TEU	65	85	25	42	35	15	60	95	105	105	60	60
6000TEU	185	175	600	171	228	148	177	485	495	510	285	285
裝卸費率	95	90	108	96	110	75	120	140	150	175	105	105
靠港時間	20	35	24	30	25	30	30	20	20	20	25	25

(資料來源：港口港務局網站資料，本研究整理。)



簡 歷

中文姓名：王賢崙

英文姓名：Hsien-Lun Wong

籍 貫：台灣省雲林縣

聯絡地址：新竹縣新豐鄉中崙村 6 鄰 206 之 8 號

聯絡電話：(03) 5593142

電子郵件：alan@mail.must.edu.tw

學歷：

國立交通大學運輸科技與管理學系博士 民國 95 年 7 月

美國德州達拉斯大學企業管理所碩士 民國 83 年 4 月

淡江大學國際貿易系學士 民國 81 年 6 月

經歷：

明新科技大學

講師



民國 83 年 8 月~迄今