

國立交通大學

管理學院碩士在職專班

運輸物流組

碩士論文

遠洋定期貨櫃航運之航線規劃

Route Planning of a Long Haul Container Liner

Service



研究生：蔡銘源

指導教授：黃承傳 教授

中華民國九十八年六月

遠洋定期貨櫃航運之航線規劃

Route Planning of a Long Haul Container Liner Service

研究生：蔡銘源

Student：Ming-Yuan Tsai

指導教授：黃承傳教授

Advisor：Dr. Cherng-Chwan Hwang

國立交通大學

管理學院碩士在職專班運輸物流組

碩士論文

A Thesis

Submitted to Master of Science in Transportation and Logistics

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation and Logistics

June 2009

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

遠洋定期貨櫃航運之航線規劃

學生：蔡銘源

指導教授：黃承傳

國立交通大學管理學院碩士在職專班運輸物流組

摘 要



航線規劃的良窳攸關航商的經營成效，特別是對遠洋定期貨櫃輪航線而言。其規劃結果直接影響航商的獲利能力、服務水準與市場競爭力。目前航商在航線規劃上，大多是依照人工經驗進行試誤法、反覆調整，缺乏效率且無法確保得到良好的結果。本研究站在航商的立場，以遠洋航線航商追求最小成本或最大利潤為目標的數學模式，根據中長期規劃航線結果，並考量定期貨櫃船舶運輸的相關營運限制與資料，發展出不同航線規劃模式，期能於實務應用上，提供航商一有效的工具，針對競爭激烈程度不同的航線作有效的航線規劃。本研究利用二元整數規劃法構建航線港口序排程模式。此模式構建期間，曾就教於實際航商規劃人員，以免陷於閉門造車之憾。將複雜的數學演算輔以簡單的船舶航行單一航線概念圖，以窮舉法求解航線的最佳化配置，讓航商在實務規劃航線時，理論與實務兼備。最後，為測試本研究模式的實用績效，本研究以國外航商之營運資料為例，進行實例測試與分析，進而提出結論與建議。

關鍵詞：航線規劃、港口序、二元整數規劃法。

Route Planning of a Long Haul Container Liner Service

student : Ming-Yuan Tsai

Advisors : Dr. Cherng-Chwan Hwang

MS Program of Transportation & Logistics
National Chiao Tung University

ABSTRACT

A good route planning is important for shipping liners, especially for those long haul container liners. The performance of route planning not only influences liners' profitability but also service level and market competition. Presently, most liners set up route planning according to the man-made experiential try-error and repeated tune method, which is lack of efficiency and could not confirm to get a good performance. This research stands on liners' position to develop mathematical models with the objectives of minimizing total cost , and maximizing profit in the container shipping market subject to liner's relevant undertaking restrictions and informations. We hope this research can provide a useful tool for liners to set up efficient route planning to engage in managing different situations of competition. This research uses "binary integer programming" to build up the ports rotation. Upon constructing the mathematical model, we once asked for the practical persons' assistance to prevent us from constructing it impractically. To decompose the complex mathematical algorithm via single route concept, we use enumeration method to search optimal solution. The optimal single route is the foundation of complicated shipping network, we hope liners can set up route planning theoretically and practically. Finally, to check and analyze the actual efficiency of this model, this research tests the actual example of foreign liner and then draw the conclusions and suggestions.

Key words: Route planning , Ports rotation , Binary interger programming

誌 謝

兩年的研究所生涯轉眼間就要結束了，也即將離開相處了二年的交通大學。在這些日子裡有許多幫助我、支持我的人，在這裡以文字獻上最大的感謝。首先，要感謝恩師黃承傳教授這兩年來的悉心指導與諄諄教誨，讓學生在課業上獲益良多。在與老師談話中，也常常能學習到許多做人處世的態度與方法，相信對學生未來會有很大的幫助，在此衷心感謝。在論文口試期間，承蒙陳基國博士與鍾政棋博士撥冗審視，細心斧正疏漏之處並提出寶貴的建議，使本論文更臻完備，在此由衷的感謝。另外，研究所在學期間，感謝所上所有老師對學生在專業知識上的培養教化，以及各位同學、學長姐、學弟妹、所內行政人員的扶持和照顧，在此特表謝意。此外，還要感謝我的家人對我的支持，讓我能無後顧之憂的完成我的學業，感謝你們。

2009.6 于台北 交通大學

目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
第一章	緒論.....	1
1.1	研究背景與動機.....	1
1.2	研究目的與課題.....	2
1.3	研究範圍.....	5
1.4	研究內容與方法.....	6
1.5	研究項目與流程.....	7
第二章	文獻回顧.....	11
2.1	定期航線設計之船舶排程.....	11
2.2	港口選擇的相關研究.....	13
2.3	航線發展部份.....	14
第三章	航線規劃之理論與實務.....	18
3.1	航線規劃之理論.....	18
3.1.1	船舶流量守恆限制.....	19
3.1.2	航程週期時間限制.....	19
3.1.3	船隊在每航次的各航段均有預計的承載櫃數和限制.....	20
3.1.4	船舶運送貨櫃的路線限制.....	20
3.1.5	軸輻路網(Hub and spoke network)	21
3.1.6	單一航線的發展.....	23
3.1.7	航線規劃之數學模式.....	24
3.2	航線規劃之實務.....	28
3.2.1	國家領土大小.....	28
3.2.2	人口密度(Population densities)	29
3.2.3	國內生產毛額(GDP)	29
3.2.4	通貨膨脹(Inflation)	31
3.2.5	平均人民壽命(Life Expectancy)	32
3.3	航線規劃的內容和組成.....	33
3.3.1	船隊(Fleet).....	33
3.3.2	船期(Scheduling).....	35
3.3.3	航線選擇(Route selection)	35

3.4	影響航線規劃的因素	38
3.4.1	成本分析	38
3.4.2	收入之估算	39
3.5	小結	40
第四章	航線規劃之模式構建	42
4.1	二元整數規劃與分支界限法	42
4.2	二元整數規劃在航線規劃上的應用	44
4.3	成本最小化之數學模式構建	45
4.3.1	基本假設	45
4.3.2	數學模式	46
4.3.3	模式之測試與分析	49
4.4	利潤最大化之數學模式構建	55
4.4.1	基本假設	56
4.4.2	數學模式	56
4.4.3	模式之測試與分析	57
4.5	小結	61
第五章	實例解析	62
5.1	個案資料蒐集	62
5.2	航線成本最小化模式之實例測試	66
5.3	航線利潤最大化模式之實例測試	67
5.4	小結	68
第六章	結論與建議	69
6.1	結論	69
6.2	建議	70
參考文獻		72
附錄		77

表 目 錄

表2.1 國內定期船研究一覽表.	15
表2.2 國外定期船研究一覽表	17
表3.1 世界主要國家或地區之國內生產毛額比較表	30
表3.2 人類發展指數(HDI) 2005年國際比較表.	32
表4.1 各起迄港口對之貨櫃運輸需求量.	51
表4.2 各航段油料成本.	51
表4.3 各航段基本航行時間.	51
表4.4 各港口靠泊基本時間.	52
表4.5 各港口靠泊費用.	52
表4.6 各航段容量.	52
表4.7 各航段運費費率表.	58
表4.8 各航段之運費收入.	58
表5.1 地中海航運公司2009年4月高雄至洛杉磯船期表.	62
表5.2 地中海航運公司2009年遠東至北美靠泊港口費用及靠泊時間表 . . .	63
表5.3 各航段之航行時間.	64
表5.4 各航段之航行成本.	64
表5.5 各航段費率表.	65
表5.6 各起迄港口載運需求櫃量.	65
表5.7 各航段運費收入表.	67

圖目錄

圖1-1 單一航線示意圖	4
圖1-2 全球航線示意圖.	4
圖1-3 研究流程圖	10
圖3-1 Hub and Spoke 概念圖.	22
圖3-2 子船螺旋集貨概念圖.	22
圖3-3 單一航線聯營示意圖.	23
圖4-1 分支界限法概念圖.	43
圖4-2 二元整數規劃的應用概念圖	44
圖4-3 測例1航線設計結果示意圖.	53
圖4-4 測例1' 航線設計結果示意圖	59
圖5-1 航商航線規劃實例測試示意圖.	66



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

台灣是一個缺乏天然資源的島國，國際貿易進出口商於簽妥貨物買賣契約後，除了備貨之外，最重要的工作就是安排貨物的運輸。現行我國國際運輸中以海洋運輸和航空運輸最為重要。然目前對台灣本島而言，大多數貨物是以海洋運輸方式完成。隨著全球經濟的快速變遷，海洋運輸貨櫃化之後，定期貨櫃航運已經成為海洋運輸的主流。近年來由於定期航線提供定期、定港泊靠服務，受到進出口商的青睞而更加成長茁壯。

在激烈的競爭環境中，各大航商為鞏固或擴大市場佔有率，紛紛改善作業效率以節省成本；另一方面採用各種經營策略（如聯營或艙位互換或買賣艙位）來維持本身之競爭優勢。所以當航商在航線規劃之初，除了要盡可能滿足託運人或受貨人的需求外，還要考慮到許多複雜的其他因素。當航商的航線規劃人員在設計單一航線時會先和各港口代理調查和預估市場的貨源概況，然後對候選港口的地理所在位置和經濟或政治條件進行評估。綜合各方面條件之後，再對港口的排列順序作整體評估。以往這些工作通常由航商有經驗的規劃人員或高階主管按照各港口代理的回報進行分析之後對預定經營的港口加以排程。在以往競爭不太激烈的年代，僅靠人力經驗的排程和航線規劃尚可應付市場需求。但是在競爭激烈的現代海洋運輸，必須借助更科學和更有效率的規劃方法進行航線的港口排程。這個問題是非常值得加以深入研究。

1.2 研究目的與課題

現今的國際海洋運輸事業競爭激烈的程度，不是單一獨立的公司可以與市場相抗衡。各自為政的年代早已過去，現在的航線或航網的推出，往往要由數家航商以聯營或聯盟的方式來經營，特別是在遠洋貨櫃輪的經營方面。通常一條遠洋航線會由數個不同的海運聯盟所共同把持。這些不同的聯盟合縱連橫、亦敵亦友，平日定期開會，互通航線市場新訊息，並聯合定價，共同對抗託運人，對市場形成寡佔態勢。

一般企業在上市之初總難免要有精緻的包裝和廣告，讓潛在消費者知道這個消息。通常一條新航線的發佈會透過船報或船期雜誌，內容不外乎以提供長期穩定和艙位足夠、價格合理的定期服務來打動潛在客戶的心。而這些潛在的客戶，包括託運人和受貨人通常在意的是他們港口對和航段的服務，其中價位是很大的影響因素。通常海運的運價約佔一個貿易行為的 10% 的成本，在微利的時代，這些國際大航商想要留住客戶，除了不斷提升自己的軟體服務品質（包括更親切的客服和提供友善的電子訂艙系統、快速的領交櫃系統、電子文件提報系統、電子提單列印系統）更重要的是要有好的航線規劃，透過科學的工具運算，挑選合適的直靠港口和轉運港口來降低本身的營運成本。單一航線（如圖 1-1）設計如此，更複雜的航網（如圖 1-2）設計更是如此。而航網設計是由單一航線所組成，所以單一航線（註 1）的設計是航網設計的基礎，也是本研究的研究目的與課題；也就是說本研究將以現今航商的真實航線週班輪案例為對象，在其母船各灣靠主港口和子船(feeder)接駁之轉口港(transshipment port, 註 2)、集貨港(source port, 註 3)、貨櫃運量、運輸成本等限制式為已

知的條件下，運用數學規劃的方法，去追求成本最小化或利潤最大化的路徑和船舶排程。

除此之外，本研究也將探討目前航商的實務航線規劃與本論文異同之處和是否有改進之空間，以提供航商參考。

註 1. 本研究中對單一航線的定義為：任何一條主幹航線加上轉運港以子船將母船上的重櫃依受貨人的需求分別送往不同的目的港 (destination port) 的區域航段，如圖 1-1 即為單一航線。

註 2. 現今之遠洋定期貨櫃輪在營運成本考量下，通常無法逐一灣靠所有航線中之港口，而會在航線中的某區域選定一轉口港（如圖 1-1 中之香港(Hong Kong)和高雄港(Kaohsiung)就很有可能被挑選為轉口港），母船再將起始港口所承運之該區域各目的港重櫃統一卸於此轉口港，再以子船分別送往各區域目的港。

註 3. 註 2 所提到的各區域目的港，也有可能重櫃要送到轉口港，再由母船統一送達航線中其他區域目的港，這些區域性的次要港口被定義為集貨港。

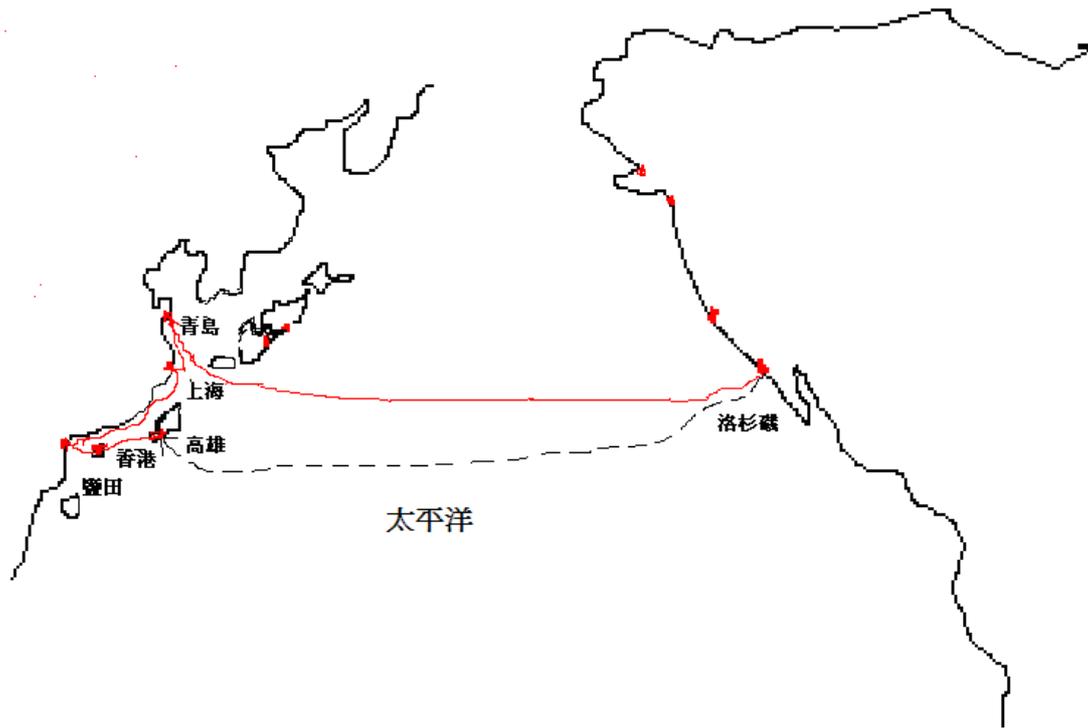


圖 1-1 單一航線示意圖



圖 1-2 全球航網示意圖

1.3 研究範圍

基本上國際海洋運輸依其經營方式可分為定期船運輸 (liner shipping service) 與不定期船運輸 (tramp shipping service) 二種。定期船是指在特定航線上依照預定船期表作有規則的往復航行的船舶，其所承運貨物多以貨櫃化 (containerized) 貨物為主；而不定期船是指航線不固定，航行時間也不固定的貨船而言，而所承運的貨物以大宗物資或散裝貨物 (bulk cargo) 為主，例如礦砂、煤炭、穀物等。本研究以定期的貨櫃運輸船為對象，為明確定位本研究的主要重點以利模式構建和相關問題之探討，茲將本論文之研究範圍界定如下：

- 
1. 航線規劃的主要內容包括：船舶排程、船隊部署、航線選擇、船隊組合和船期安排等部份。本論文所探討的航線規劃所著重之主要分析範圍在航線靠港部份，也就是所謂船舶排程部份。
 2. 本論文所設計之航線為遠洋定期貨櫃輪航線且為跨區域之越洋主航線。其區域內之接駁航線亦為討論及模式構建之範圍。
 3. 本論文中之貨櫃起迄以重櫃為主，包含空櫃調度。以越洋港對港之重櫃為主，而不涉及內陸拖運部份 (pre-carriage & on-carriage)。
 4. 本論文所探討的遠洋定期貨櫃輪是週班輪，亦即航線中之主港口在每一週的固定日期都會有母船來灣靠。而次要港口則以子船不定期灣靠。
 5. 本論文所探討之母船於灣靠單一航線主港口時，有可能在追求成本極小化的目標下，而蛙跳過某些主港口。

1.4 研究內容與方法

本研究的內容主要包括文獻回顧、現況了解與問題解析、定期貨櫃輪航線設計模式構建與實例研究等。

1. 文獻回顧

本論文之文獻回顧將針對航線設計方面來進行。文中將回顧有關船舶排程之相關文獻，以深入了解遠洋定期貨櫃航線設計的相關模式和考量的因素，以作為本論文模式構建的參考。

2. 現況了解與問題解析



為了進一步瞭解遠洋定期輪航商的航線規劃設計，在本論文進行時實際拜訪國內航商以了解航商的現況作業決策模式和對未來航線發展的展望。並以地中海航運公司「越太平洋航線(Eagle Service)」經營模式為例，進行航線港口分佈次序和櫃量分佈等資料蒐集與整理，以供實例分析使用。

本研究的方法乃是參考文獻回顧和蒐集航商實際航線所有起迄港口對的櫃量分佈與起迄航段的運送時間的關係以窮舉法(enumeration)進行求解，希望可以在追求整體航線成本極小化或利潤最大化的目標之下，測試模式的正確性和適用性。

1.5 研究項目與流程

本論文乃藉由對航商實務航線規劃的了解，再以數學規劃構建船舶航線排程和港口選擇的數學模式。進而以現行航商真正的營運實例進行模式應用和結果評析。主要的工作項目與研究流程如下：

1. 確立研究主題與範圍

本研究主題與範圍為在固定的船舶數和固定的港口數為已知條件，探討單一遠洋定期貨櫃輪的航線規劃。也就是針對該航線的所有港口中，挑選跨區域港口的所有港口對，進行重櫃貨櫃量和運輸時間的比對，企圖找出關係式，再對船舶靠港的排程順序(rotation)進行調校，來達到成本最小化或利潤最大化的目標。

2. 文獻回顧

本研究初期參考國立交通大學運輸工程與管理系，張斐茹[10]碩士論文，軸輻路網在國際定期貨櫃船航線之應用；國立成功大學交通管理科學研究所，邱明琦[1]的博士論文，定期貨櫃航線網路設計模式之研究；國立交通大學交通運輸研究所，丁士展[8]的博士論文，定期航運航線與收益管理之研究；國立臺灣海洋大學導航與通訊學系，黃玉惠[15]的碩士論文，定期航線港埠排程規劃之研究。國立台灣海洋大學商船學系，陳力民[14]的碩士論文，運用數學模式於貨櫃航線規劃應考量要素之研究。期望

能藉由這些文獻的回顧，再加上其他相關論文或期刊的相關學理或新發現等流程步驟，而能完成本論文之研究。

3. 航商訪談

本研究進行過程中將實際與航商之航線規劃人員訪談，就單一遠洋定期貨櫃輪之航線規劃以及進一步的實際規劃內容和考慮因素進行了解，以對本研究所思慮不足或欠缺之處進行修正或補強。

4. 資料蒐集

本研究將蒐集航商的遠洋定期輪航班表，觀察該航線之船期和排列港口之異動情形，並詢問航商對單一航線中之港口選擇是否以最低成本為考慮，或另有其他非成本因素為考量，以作為本研究之佐證或模式修正。

詳細的個案研究資料蒐集，包括油料成本和船舶靠港成本等細節，將在第五章第一節中探討。

5. 數學模式構建

第三章中將初步整理出中外學者在海運運輸的數學模式，再於第四章中部分修改該數學模式以便應用於遠洋定期貨櫃航運之航線規劃。其中以數學規劃模式分別對特定遠洋定期貨櫃輪航線的所有港口對(Port

pairs)之間船舶運送時間和港口選擇作探討。

6. 個案資料蒐集與分析

本研究第五章選定地中海航運公司的遠洋定期貨櫃輪—越太平洋航線(Eagle Service)為實際案例，進行研究比對。以了解目前航線實務規劃的真正考慮因素和本研究模式所考慮因素之異同。

7. 結論與建議

綜合以上研究內容之分析，對本論文提出具體結論和相關建議以供航商開闢新航線或重組舊航線之參考。



研究流程圖如下頁所示。

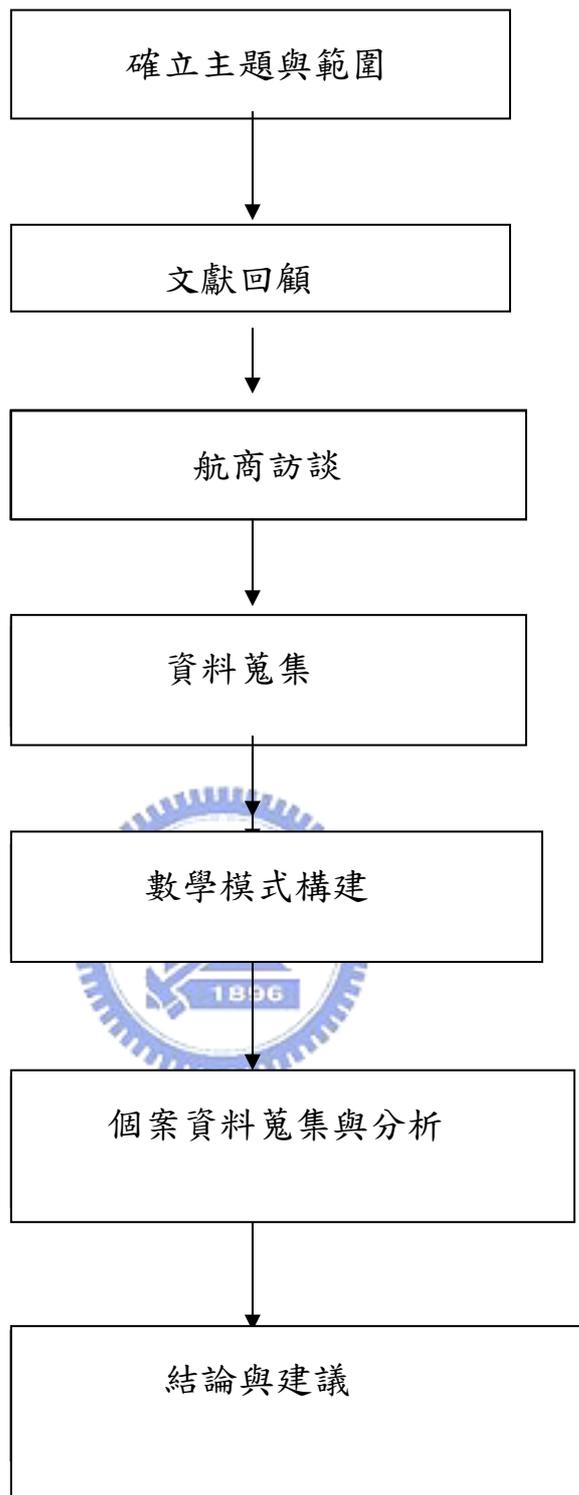


圖 1-3 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章之目的在於回顧海洋運輸之船舶航線規劃問題，而航線規劃問題主要在探討船舶繞行路線的安排，也就是船舶排程和港口選擇問題。一般而言，遠洋定期航線的船隊部署和營運動輒需要投入巨大的資本，因此在航線規劃上不可不慎。特別是海運業的經營環境複雜，在作業上充滿相當多的不確定性，例如機械故障、天候變異、碼頭工人罷工、船舶碰撞、海難、偏航等均會影響船隊的營運。因此，定期航線設計之船舶排程和港口選擇等相關研究是遠洋定期貨櫃航運之航線規劃的重點。

2.1 定期航線設計之船舶排程



在這一個部份要先探討和航線設計直接相關的船舶排程 (ship routing) 研究。

Ronen (33)曾就船舶排程及排班問題做綜合性的探討，也曾對船舶和車輛的排程及排班的差異性進行比較。

Cho and Perakis (26)在1996年發表貨櫃船的船隊規模和最佳路線的研究，依據短期和長期的不同條件假設，提供兩種不同的船舶排程策略。短期部份假定貨櫃運輸需求、船隊規模及航線等為已知條件而建立數學模式，求解每一條船個別的航線組合和靠港航次。長期部份則假設船隊規模是不確定的，分別用線性規劃(LP)和混合整數規劃(MIP)可求解各船舶之航線分派和靠港航次，以及同時決定船舶的建造、購買或租賃等船隊管理策略。雖然作者提出短期和長期兩種模式，但未對模式進一步驗證，

而僅建議以最佳化軟體求解。在面對大規模整數規劃問題時，則考慮用拉氏鬆弛法 (Lagrangean Relaxation) 來改善求解速度。

Rana and Vickson (35)探討往復式網路型態下的定期貨櫃船排程問題。假設在航商面臨市場超額需求時，其構建之數學模式可用以求解某一船舶的航行路線各起迄港口對間的貨櫃流量和最佳的繞行航次數。該數學模式為一追求營運利潤最大化為目標的混合整數規劃模式。由於市場需求為超額且數量為已知，所以航商可以對不同貨櫃運輸需求進行篩選過濾，選擇利潤貢獻度較高的貨櫃需求來提供服務。

謝尚行、張斐茹(11)以 O' Kelly(32)的軸輻路網(Hub and spoke)模式為基礎，將普遍應用於航空運輸的軸輻路網觀念，進一步應用於海運定期輪船的航線規劃上。該研究將貨櫃輪母船與子船間的單位運送成本比率定義為折扣因子(discount factor)，當折扣因子愈小表示相較於子船之直接運送，經由軸心港再以母船轉運的方式較具有規模經濟。該研究整合海運軸心港、集貨港(副港)、主幹線和輻線等海運特性，建立一個追求以路網總運送成本最小為目標函數的海運軸輻路網模式。該模式在本質上是屬於二次指派(quadratic assignment)的 0-1 整數規劃模式。該研究在模式的構建上，假設軸心港之個數為已知，而每個集貨港只能連接一個軸心港。由於軸心港的灣靠順序是事先決定的，所以該模式是在已知的軸心港下，挑選合適的軸心港次序。其次再探討集貨港與軸心港間的連接子船的灣靠順序。在實例分析方面，該研究以越太平洋航線為例，分別就 4 個及 5 個軸心港的情形求解，比較在不同軸心港的選擇下，集貨港與軸心港的連接子船的灣靠次序和運送總成本。

游至誠[16]就張斐茹[10]的模式再稍作修改，提出「允許集貨港與軸

心港不直接相連之海運軸輻路網模式」，以軸心港位置的選擇為切入點，對海運軸輻路網的主題再次作相關的研究，探討航商在佈局軸輻路網時應如何選擇最有利的港口成為軸心港。

2.2 港口選擇的相關研究

謝景昌[17]曾探討定期貨櫃船靠泊港口決策模式。認為停靠港口選擇是航商營運重要決策之一，實務上，航商幾乎都憑經驗就有限替選方案決定停靠港口，迄今未有實用之決策模式可供輔助。但影響停靠港口決定之因素眾多，有客觀因素如港埠費率、港際貨運需求量、港際貨運費率、貨物運送時間限制，及主觀因素如船舶數量與性能、船舶運載能力、航次頻率與航行週期，各種因素產生龐大的方案組合。

航商在開闢新航線或更動舊航線時，船隊所彎靠之港口是重要決策之一。該研究將影響定期船停靠港口選擇之因素作為定期船停靠港口決策模式之構成要件，除了考慮一般模式之成本外，特別將航次週期時間、週班服務、船舶裝載量限制與各港潛在貨量變化等納入考慮，並依據實務上航線去回程靠泊不同港，發展一去回程彎靠港口不需相同之模式；該研究之數學模式屬於混合整數規劃（Mixed Integer Programming）之模式，經以假設範例測試結果顯示該研究模式充分反應決策情境之變化；另外在實例分析時，多能符合航商在規劃航線時之考量。然而該研究僅以航商獨自開闢航線為出發點，未考慮航線聯營與各港貨量之市場佔有率，若能經由市場調查更精確取得各航商間貨量的市場佔有率，將可使定期貨櫃船靠港決策

模式更為實用。

張正宜[18]曾發表「臺灣地區規劃闢建洲際貨櫃中心深水碼頭最佳化港口選擇」，就未來在台灣各國際商港中選擇闢建東南亞大型轉運樞紐港，以提升國際競爭力。有鑑於此，該研究藉由問卷的方式，向多位港埠專家們進行調查。期望利用多準則決策分析技術(Multiple Criteria Decision Making; MCDM)中之分析階層程序法(Analytic Hierarchy Process; AHP)及相關正負理想解技術(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution; TOPSIS)等作為分析決策工具。經由多準則決策分析技術(MCDM)針對台灣地區之基隆港、台北港、台中港及高雄港等著名國際商港，何者具備成為東南亞大型轉運樞紐港的最佳化選擇，以提供航商在台灣之營運策略，使台灣的國際商港能夠再度進入世界重要港口之林。



2.3 航線發展部分

Robinson (36)將亞太地區航運網路的發展區分為三個階段，也說明東南亞和中國的經濟成長和新興港口如上海、鹽田等的加入，使未來亞太地區整體航網將朝向多層次的結構發展。其中香港、新加坡可能成為第一級轉運中心，專用來泊靠遠洋線的超大型船舶。高雄和釜山則可能成為第一級或第二級轉運中心，專用來泊靠次要遠洋航線的大型船舶。而中國大陸和東南亞新興港口則為第三級港口(集貨港)，其貨櫃再運送到第一級港口或第二級港口去接駁母船，反之亦同，由第一或第二級港口的母船卸下貨

櫃，再由子船運到第三級港口。不過，近年來由於中國大陸和中東油源國的經濟蓬勃發展和加速港口建設，上海、鹽田有逐漸成為第一級港口的趨勢。

總括來說，該研究提出了幾個相當重要的概念：

1. 亞洲區域航網為全球航運網路的一個節點，同時也是一個完整的航運網路。
2. 定期貨櫃輪航線的合併與策略聯盟趨勢將會促進越洋主航線和接駁航線網路的整合，以擴大航商的服務範圍，也得以滿足越洋主航線大型船舶的艙位滿載需求和運量上的經濟規模。

綜觀國內外這二十年來有關於定期貨櫃船的重要研究和文獻整理如表 2.1 與表 2.2，表 2.1 是國內定期船研究一覽表，表 2.2 是國外定期船研究一覽表。

表 2.1 國內定期船研究一覽表

文獻著者	主要決策	目標式	求解方法
陳春益 & 張永昌(1994)	航段&港口選擇	Min cost	MIP
許志成(1998)	航段選擇	Min cost	IP
郭塗城& 朱經武(2000)	航段&港口選擇	Max profit	IP

謝尚行& 張斐如(2001)	航段&港口選擇	Min cost	IP + heuristic
謝尚行& 王賢崙& 宋文俊(2002)	航段&港口選擇	Max profit	IP + heuristic
盧華安(2002)	航段選擇	Max profit	Branch & bound + heuristic
顏上堯& 藍世宗(2003)	航段&港口選擇	Max profit	NLP
盧華安& 李永苓(2003)	航段&航線選擇	Max profit	IP + BIP + heuristic
黃玉惠(2004)	航段&港口選擇	Min cost	Beam search + heuristic

註：

MIP：Mixed Integer Programming 混合整數規劃

IP：Integer Programming 整數規劃

Heuristic：啟發式演算法

NLP：Non Linear Programming 非線性規劃

BIP：Binary Integer Programming 二元整數規劃

Max flow：最大流量

Beam search：集束搜尋法

表 2.2 國外定期船研究一覽表

文獻著者	主要決策	目標式	求解方法
Rana & Vickson (1988)	航段&港口選擇	Max profit	LP + Lagrangian relaxation
Rana & Vickson (1991)	航段&港口選擇	Max profit	NLP + Lag.
Fagerholt (1999)	港口選擇	Min cost	LP
Fagerholt (2000)	港口選擇	Min distance	DP
Lu (2002)	航段&港口選擇	Min cost	MIP

註. :



Lagrangian relaxation : 拉氏鬆弛法

CPLEX : 最佳化軟體

LP : Linear Programming 線性規劃

DP : Dynamic Programming 動態規劃

第三章 航線規劃之理論與實務

作業研究(operation research)這一門學科的應用範圍在二次大戰之後有了相當大的進展。特別是在電腦普及後，進步更是神速。也是在航線規劃時不可或缺的工具。但是因為這門學科的應用牽涉到基本微積分、線性代數、統計學，如果太拘泥於數學運算而未考量到實務運作面則研究出來的論文未必具有實用參考價值。因此在本論文研究期間，特就教於多位定期貨櫃船公司的高階主管，深入訪談，以期本論文能達理論與實務兼備。

3.1 航線規劃之理論



在第二章文獻回顧中的國內外定期船研究一覽表歸納下，可以整理出定期貨櫃船的目標式總是在追求整個船隊的營運成本極小化或是營運利潤極大化。不論所採用的研究方法為整數規劃(IP)、混合整數規劃(MIP)、線性規劃(LP)、非線性規劃(NLP)、動態規劃(DP)或啟發式演算法(heuristic)等，國內外學者的研究均以總成本最小化或利潤最大化為目標而構建數學模式。如以追求成本最小化的目標式，即將各航段航行成本及在港灣靠成本加以考量；限制式部分乃是針對定期航線之航程特性，如航程循環、航程週期等加以限制。並在模式中考量載運貨櫃數量，如港口對貨量需求、船舶載運容量限制等。以下就將進一步對其內容加以說明：

3.1.1 船舶流量守恆限制

目前定期貨櫃船航線的主幹線中的船舶航行各主要港口一般均具有循環迴路或鐘擺來回的特性(除了某些特別的航線為因應特殊的市場需求或成本掌控而必須有一部分船舶在主幹線中蛙跳過某些次要港口)，在主幹線中逐一灣靠各主要港口，而且是定期灣靠。目前實務上的中長程洲際航線(也就是一般通稱的遠洋線)大多數是週班輪；短程的區間船(也就是一般通稱的近洋線)就有可能一週有數班船來灣靠，或是二或三週才來一班船灣靠，但二班船之間總會有時間差，以免船舶無適當數量的貨櫃可裝載。所以船隊的營運均具有流量守恆之性質，使航線循環不間斷。除非有某些船舶要歲修或故障而退出，但船東總會增派船舶來填補原來的空缺，不會讓船隊經營出現作業上的缺失。



3.1.2 航程週期時間限制

定期貨櫃輪以其定期定時船班綿密的灣靠重要港口見長，也利於託運人的船期安排。如果因為天候或人為的碼頭罷工等不可抗力因素影響而造成船期遲延，則船東會要求船長在不可抗力因素解除後，在不影響船舶安全的前提下，加速前進，盡力趕上原先預定進度(proforma schedule)以維護託運人和受貨人的權益。

總而言之，在遠洋航線方面，船東在船隊經營會盡力維持一年 52 週當中週週都有船去灣靠主航線的主要港口；而每一航次的週期(round trip)都會盡力保持一樣的時間，以保持船隊的最高服務水準。

3.1.3 船隊在每航次的各航段均有預計的承載櫃數和限制

一條遠洋貨櫃船上面可以裝載貨櫃的地方有分：甲板上和甲板下。通常為了船舶航行的安全和重心穩固，會盡量把較重的貨櫃裝載於甲板下；而較輕的貨櫃會裝載於甲板上面。但是也不絕對，因為船東還要考慮到翻艙(shifting)的成本。

其實一條定期貨櫃船的載重量和裝載貨櫃數量是有限制的。這個原理就和客機或是公車一樣，裝載過多或過重都難免會有危險產生。而定期貨櫃船在航行當中總會有貨櫃從某起始港口(source port)裝船而到某目的港(destination port)下船，為了避免艙位(slot)浪費和追求營運利潤極大化，船公司的各港口分公司或代理行的營業單位會與船東作業(operation)部門密切配合，在船舶航行中的某目的港接受託運人訂艙(booking)，在某些貨櫃卸下船後，再將新訂艙的貨櫃裝船。隨時盡量保持船舶的滿載，以獲取最大利潤。

3.1.4 船舶運送貨櫃的路線限制

定期貨櫃輪在航行中，除非遇到危險或是不可抗力因素，是不可任意偏航(deviation)。當然也就不能為了裝載非航道中的港口的貨載而擅自偏航。以圖 1-1 為例：假設這條越太平洋航線的主要灣靠港口分別為高雄(Kaohsiung) → 香港(Hong Kong) → 鹽田(Yantian) → 上海(Shanghai)

→ 青島(Qingdao) → 洛杉磯(Los Angeles) → 高雄(Kaohsiung)，當母船(mother vessel)航行到上海(Shanghai)時，恰巧寧波(Ningbo)也有貨櫃想要趕上母船，但母船終究不能因為上海與寧波距離近而嘗試直接灣靠寧波，必須是寧波的貨櫃經由卡車(truck)、火車(rail)或是子船(feeder)運送到上海來與母船銜接。

3.1.5 軸輻路網(Hub and spoke network)

國內外都有學者提及和研究軸輻路網理論。其概念如圖 3-1 所示，即為將兩個樞紐港 HUB 和 HUB' 當作是腳踏車的兩個輪子的軸心，而起始港 A、B、C、D 分別以 4 艘子船將其個別貨櫃送往樞紐港 HUB 匯整，共同裝上同一條母船再送往另一樞紐港 HUB' 卸下，再裝上 5 艘不同的子船送達不同的 5 個目的港 E、F、G、H、I；如此一來在時間上和成本上都會較為節省。然而這個模式在實務上是空運使用的較多，特別是客機。因為一般而言客機較趕時間且不喜歡過夜(overnight)；而在海運定期貨櫃輪方面，因為時間較不急迫且限於成本考量，通常船隊航行所採用的路網方式如圖 3-2 所示。業者不會在樞紐港 HUB' 一次放置 5 艘子船，待母船一到就 5 艘子船同步輻射到 5 個不同的目的港。而是會採用圖 3-2 的子船螺旋(spiral network)集貨方式，只配置 1 艘子船從樞紐港 HUB' 出發，逐一靠泊目的港 E、F、G、H、I。

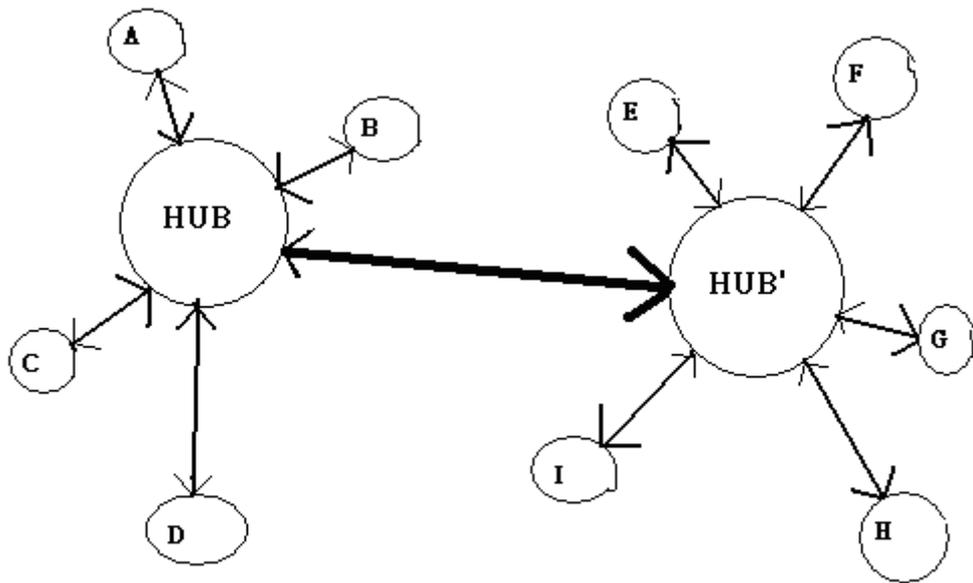


圖 3-1 Hub and Spoke 概念圖

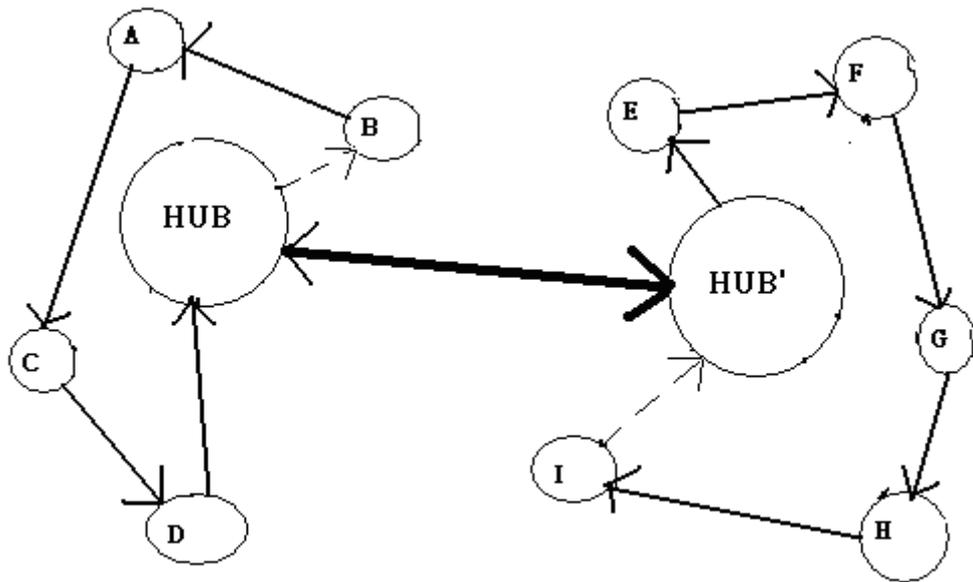


圖 3-2 子船螺旋集貨概念圖

3.1.6 單一航線的發展

圖 3-3 的 A、B、C、G、H 港和 D、E、F、G、I 港分屬二條不同單一航線。原本 A、B、C、G 港的貨載只送往 H 港。D、E、F、G 港的貨載只送往 I 港，無論這二條單一航線是屬於同一航商或分屬不同航商，都可以透過聯營或互換、互租艙位來擴大規模，服務更廣大的客戶。航線規劃人員可以將 A、B、C 港想送往 I 港的貨載卸在 G 港，再轉到原本 D、E、F、G、I 航線的船。而送往 I 港的 D、E、F 港中有想送往 H 港的貨載，可以在 G 港卸下，再轉船到原本 A、B、C、G、H 航線的船上。而回程的船，也是同樣的道理。如此一來，航商就可以用最小的成本把單一航線規模擴大。

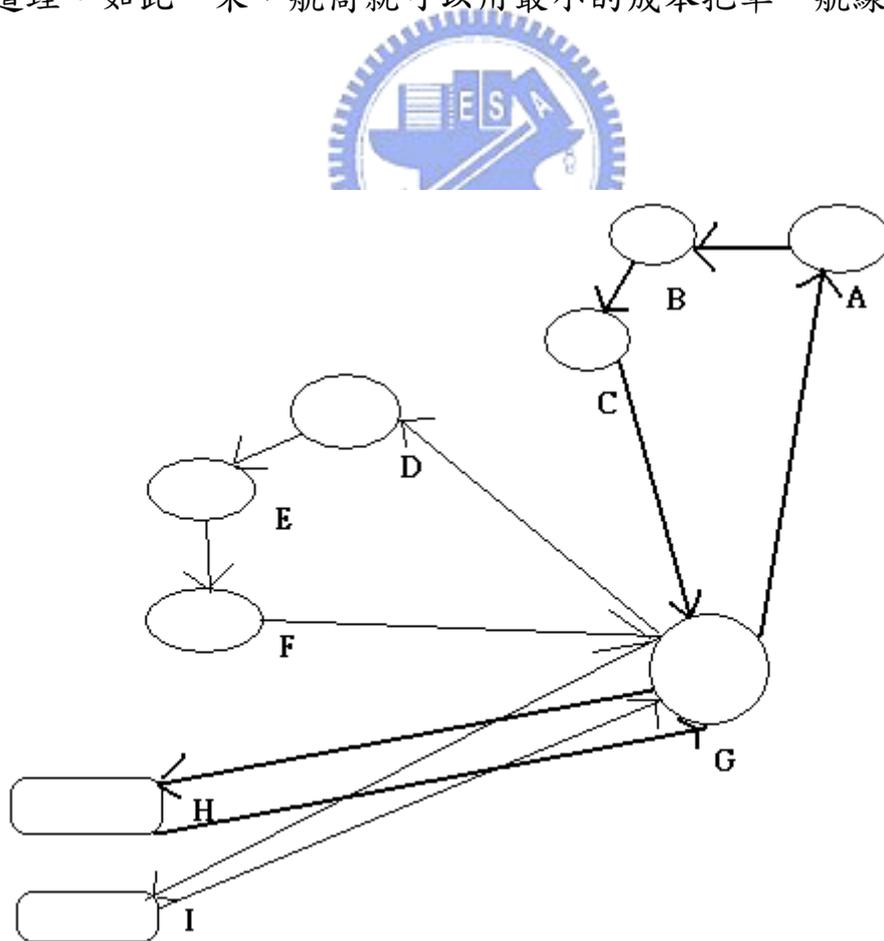


圖 3-3 單一航線聯營示意圖

3.1.7 航線規劃之數學模式

有關航線規劃(ship routing and scheduling)的研究，首先要回溯到 1983 年的 Ronen (33)。十年後 Ronen (1993)再度發表相同領域的著作。2002 年 Perakis (34)發表船隊作業和派遣(fleet operations and deployment)的模式。2003 年 Vis 和 de Koster (38)發表了貨櫃在貨櫃場轉船(transshipment of containers in container terminal)的相關文獻。這些和航線規劃相關的理論和文獻的發表，不外乎是要幫助航商在有限的資源下(限制式)，去追求成本最小或利潤最大的目標式。航商能把航線經營好，甚而降低運價，對託運人或受貨人而言也是間接受益，對國際貿易的進行和全球經濟也是有幫助的。

Fagerholt (29)在 1999 年用動態規劃(dynamic programming)演算法和集合分割(set partitioning)演算法對週班輪的路線做最佳化規劃。可惜這個規劃受到船隊中的每一艘船舶不論大小都必須維持相同速度的限制而無法被航商所接受。但不久後，在 2000 年 Fagerholt 和 Lindstad (30)成功提出另一個新的演算法，克服每一艘船舶的不同速度的限制，並在挪威(Norway)外海以航商做試驗，結果這個新演算法在當時為航商每年省下 700 萬美元的營運成本。

綜觀以上各位學者專家的理論，可以整理出航線的路線規劃和排程(routing and scheduling)的目標不外乎是追求成本最小化或利潤最大化；本研究整理截至目前為止，發現在油價、運價或匯率波動較大時對收入掌控不易，航線規劃以追求成本最小化者居多。其數學模式可以下式為代表：

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} c_{vr} x_{vr} \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} x_{vr} = 1, \quad \forall i \in N, \quad (2)$$

$$\sum_{r \in R_v} x_{vr} = 1, \quad \forall v \in V, \quad (3)$$

$$x_{vr} \in \{0, 1\}, \quad \forall v \in V, r \in R_v \quad (4)$$

其中 V : 航線中所有船舶的集合

v : 航線中某一條船舶

N : 航線中所有貨物(貨櫃)的集合

i : 航線中某一貨物(貨櫃)

R_v : 可行候選船期的集合

r : 某一特定船期

c_{vr} : 某船期 r 中的某船舶 v 的營運成本

$$a_{ivr} = \begin{cases} 1, & \text{若船舶 } v \text{ 在船期 } r \text{ 裝載貨物(櫃) } i \\ 0, & \text{其他的情況} \end{cases}$$

$$x_{vr} = \begin{cases} 1, & \text{若船舶 } v \text{ 航行於船期 } r \\ 0, & \text{其他的情況} \end{cases}$$

然而船隊營運難免遇到船舶進塢歲修、其他不可抗力事件，如海難等而使船隊中的某一艘船舶不能續航，或承攬貨載過多超過船舶容量限制，此時

唯有緊急調度船舶來增援。若無適當船舶來增援，則必須租僱船或在市場中緊急購買艙位，才能使船隊營運順利。此時的數學模式需稍作修改，如下式所示：

$$\text{Min } \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} c_{vr} x_{vr} + \sum_{i \in N} c_{SPOTi} s_i, \quad (5)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} + s_i = 1, \quad \forall i \in N, \quad (6)$$

$$s_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N. \quad (7)$$

其中 $s_i = \begin{cases} 1, & \text{若貨物(櫃)}i\text{是被租僱船或租艙位所裝載} \\ 0, & \text{其他的狀況} \end{cases}$

c_{SPOTi} : 貨物(櫃) i 被租僱船或租艙位所裝載的成本



反之，若是油價、運價或匯率波動不大，對收入掌控容易時，航線規劃以追求利潤最大化應該較符合航商的要求。本研究針對利潤最大化所整理出來的數學模式如下：

$$\text{Max } \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} (p_{vr} - c_{vr}) x_{vrk} + \sum_{i \in N} \pi_i s_i, \quad (8)$$

$$\text{Subject to } \sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} x_{vr} + s_i = 1, \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{r \in R_v} a_{ivr} x_{vr} = 1, \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$\sum_{r \in R_v} x_{vr} = 1, \forall v \in V, \quad (11)$$

$$x_{vrk} \in \{0,1\}, \forall v \in V, r \in R_v, \quad (12)$$

$$s_i \in \{0,1\}, \forall i \in N \quad (13)$$

p_{vr} : v 船舶在船期 r 所獲得的收入

π_i : 貨載 i 裝載於他公司所獲得的利潤

$$s_i = \begin{cases} 1, \text{若貨物(櫃)} i \text{ 是被租備船或租艙位所裝載} \\ 0, \text{其他的狀況} \end{cases}$$

其中 V : 航線中所有船舶的集合

v : 航線中某一條船舶

N : 航線中所有貨物(貨櫃)的集合

i : 航線中某一貨物(貨櫃)

R_v : 可行候選船期的集合

r : 某一特定船期

c_{vr} : 某船期 r 中的某船舶 v 的營運成本

$$a_{ivr} = \begin{cases} 1, \text{若船舶} v \text{ 在船期} r \text{ 裝載貨物(櫃)} i \\ 0, \text{其他的情況} \end{cases}$$

$$x_{vr} = \begin{cases} 1, \text{若船舶} v \text{ 航行於船期} r \\ 0, \text{其他的情況} \end{cases}$$

3.2 航線規劃之實務

本論文研究期間，曾對遠洋貨櫃輪公司的資深航線規劃人員作深入訪談，以免本文落入閉門造車之憾。首先我們發現這些實務上的航線規劃人員多為有數十年航海經驗上岸的船長或大副，在規劃航線時多半會參酌業務人員和航線所經過港口分公司或代理行的需求來規劃航線。當然這些船長或大副們除了各港口分公司或代理行的需求外，心中對航線的規劃自有一把尺和遵循的依據。以下幾點就是透露出來的一些遵循依據：

3.2.1 國家領土大小



航商的航線規劃人員航線規劃實務經驗，是在航線規劃之初會考量開闢有貨源、有利潤的航線。就一條航線而言，必定要有出口和進口，最好是雙向均勻，出口港和進口港同時擁有出口和進口的貨載，而且量要大、周轉率要快，這樣就有可能會獲利。例如中國的國家領土很大，又是全世界的生產基地，是一個以出口為導向的國家，有很大的出口量；反觀美國也是一個很大的國家，但她卻是全世界最大的進口國（同時也是世界最大出口國），消費能力非常強。中國到美國這一條航線在航商的眼中就是一條標準的會獲利航線，也是兵家必爭之地。

3.2.2 人口密度(Population densities)

遠洋定期輪航商在航線規劃之初的第二個注重的議題是人口密度。包括全世界和各大洲密度高和密度低的國家的比較，是實務航線規劃人員決定是否值得開闢一條航線或派遣幾條貨櫃船、和應該派遣多少貨櫃容量的船舶和週期安排的一個很重要的參考指標。對航商的航線規劃人員而言，通常人口密度高的地區或國家較可能有大量的貨物進出口需求傾向。而大量的貨物(櫃)進出口的最好、最經濟的運具就是船舶，因此也就有新航線開闢的可能性。



3.2.3 國內生產毛額(GDP)

國內生產毛額(GDP) / 國民生產毛額(GNP) 資料為衡量經濟活動最廣泛的指標，也是所有指標中最重要、最基礎的指標，它可以說是一切經濟活動最後的結果。

GDP 指是一特定期間（通常為一年）在一國境內從事各種經濟活動的總成果指標。一國的生產活動，是分由各個產業部門（如製造業、服務業）使用勞動者或機器設備等，將投入的原材料、半成品或提供服務等。這些產出額扣除投入的原材料、半成品部分後，即為創造產出的增加部分，稱為附加價值（Value-added），各種產出的附加價值的合計即為國內生產毛額。國內生產毛額的大小，表示一國的經濟規模，其對上年的增加率稱

之為經濟成長率，是判斷經濟情勢的重要指標。

而 GNP 是指一國之國民從事所有生產活動結果所創造產生的附加價值總和。所以 GDP 與 GNP 之差異是國外要素所得收入淨額（本國國民在國外之要素所得收入減去外國國民在國內之要素所得後之淨額）。〔國內生產毛額 + 國外要素所得收入淨額 = 國民生產毛額（GNP）〕。GDP 或 GNP 的數值高低，直接代表了經濟景氣的好壞。

因此，國內生產毛額或國民生產毛額也是航商的航線規劃人員的一項重要參考指標。他們透露一個很簡單的道理：國內生產毛額高的國家或地區，相對得國民所得高，購買力強，對於航商而言，其貨物(櫃)出口量不見得大，但是進口量相對較大。參考下表，再由航商口中得知這個指標與實務不謀而合。一些遠東到美加或西北歐的航線經常在旺季的時候大爆滿，艙位一位難求。



表 3.1 世界主要國家或地區之國內生產毛額比較表

GDP per Capita (estimation 2006) (PPP in US \$)

Highest GDP per Capita in \$		Lowest GDP per Capita in \$	
(1) Luxembourg	68'800	(1) Comoros	600
(2) Equatorial Guinea	50'200	(1) Somalia	600
(3) U.A.E.	49'700	(1) Malawi	600
(4) Norway	47'800	(4) Burundi	700
(5) Ireland	43'600	(4) Congo, Dem.	700
(6) U.S.A.	43'500	(6) East Timor	800
(7) Iceland	38'100	(6) Tanzania	800
(8) Denmark	37'000	(6) Afghanistan	800
(9) Canada	35'200	(9) Madagascar	900
(10) San Marino	34'600	(9) Guinea-Bissau	900
		(9) Sierra Leone	900
		(9) Yemen	900

3.2.4 通貨膨脹(Inflation)

在歷史上，很多國家曾發生過嚴重的通貨膨脹，受害慘重。尤其是在近代兩次世界大戰之後，許多國家因為生產遭到嚴重破壞，以及龐大的軍費支出，造成財政鉅額赤字，迫使政府大量印發鈔票，而陷入惡性通貨膨脹，經濟體制幾乎瓦解。

對於那些嚴重通貨膨脹的國家或地區，航商的規劃人員是非常戒慎恐懼的。通常是會排除在新航線的主要港口或目的地之外，否則一旦真的幫受貨人把貨物(櫃)安全送達目的地，但受貨人卻因通貨膨脹而無力償付運費或當地相關文件費或政府規費而拒提貨物(櫃)，則貨物(櫃)將成為航商的燙手山芋，而進入冗長的拍賣程序；從另外一個角度來看，這些嚴重通貨膨脹的國家或地區貨物(櫃)出口有限，航商規劃人員也不會花心力在這些國家或地區。

高通貨膨脹國家或地區的政治較不穩定，也是戰爭風險較高的地區，航商較不願意收送當地貨載；如收送當地貨載，通常會向託運人收取戰爭附加費(war risk surcharge)；低通貨膨脹國家雖然較無風險，但若出口貨載到戰爭風險較高的地區，航商一樣會向託運人收取戰爭附加費。

3.2.5 平均人民壽命(Life Expectancy)

依據人類發展指數(HDI, Human Development Index) 2005 年國際比較表(表 3.2)所示，通常一個國家或地區的人民其平均壽命愈高，則識字(literacy)率也愈高，購買力也愈強。針對其購買力強，只要找到出口強的國家或地區的港口，就有機會形成一條新航線。由表 3.2 可以看出平均壽命較長的國家或地區正是現實世界中較文明、較先進、購買力較強的國家或地區；航商的這一個考量點果然是有其獨到之處，是其他相關航線規劃文獻中所未提及的。

表 3.2 人類發展指數(HDI) 2005 年國際比較表

	人類發展指數 ①				零歲平均餘命		成人識字率		粗在學率		按購買力平價計算之平均每人GDP⑤	
	2005年		1990年②		歲	排名	③		④		PPP\$	排名
	值	排名	值	排名			%	排名	%	排名		
冰島	0.968	1	0.918	3	81.5	3	99.0	18	95.4	14	36,510	5
挪威	0.968	2	0.913	7	79.8	12	99.0	18	99.2	7	41,420	3
澳洲	0.962	3	0.894	15	80.9	5	99.0	18	113.0	1	31,794	16
加拿大	0.961	4	0.931	1	80.3	8	99.0	18	99.2	7	33,375	10
愛爾蘭	0.959	5	0.875	22	78.4	25	99.0	18	99.9	6	38,505	4
日本	0.953	8	0.916	4	82.3	1	99.0	18	85.9	43	31,267	17
法國	0.952	10	0.907	8	80.2	11	99.0	18	96.5	12	30,386	18
美國	0.951	12	0.919	2	77.9	29	99.0	18	93.3	20	41,890	2
英國	0.946	16	0.890	17	79.0	19	99.0	18	93.0	21	33,238	11
香港	0.937	21	0.865	24	81.9	2	94.6	69	76.3	72	34,833	7
德國	0.935	22	0.890	17	79.1	17	99.0	18	88.0	35	29,461	20
中華民國	0.932	23	0.828	31	77.4	34	97.3	54	100.0	5	28,552	21
新加坡	0.922	26	0.827	32	79.4	14	92.5	79	87.3	38	29,663	19
南韓	0.921	27	0.825	34	77.9	29	99.0	18	96.0	13	22,029	33
中國大陸	0.777	82	0.634	90	72.5	69	90.9	86	69.1	108	6,757	87

資料來源：聯合國開發計畫署「Human Development Report 2007-08」、內政部、教育部。
 附註：①HDI 值界於 0~1 之間，值愈高愈佳，計算至小數點 6 位數，並據以排名。
 ②採用與 2005 年 HDI 相同公式計算而得，惟參與排名國家僅 139 國。
 ③成人識字率為 15 歲以上識字者占 15 歲以上人口比率；識字者係指在日常生活上能閱讀普通書報並有書寫簡短書信能力者。
 ④粗在學率指學生人數占 6 至 21 歲人口數比率。
 ⑤我國按購買力平價計算之平均每人 GDP 採 IMF「World Economic Outlook Database」數值。

3.3 航線規劃的內容和組成

3.3.1 船隊(Fleet)

單一航線的船隊通常由數艘全貨櫃船(有時航商規模不夠或船舶調度有困難，也可能調派半貨櫃輪)所組成。船舶數量視航線大小而定，通常遠洋線(指洲際輪而言)會派 3,000TEU 以上的船。船舶數量多寡就要視航程長遠而定，例如航程 42 天，為維持週班輪服務，就要調派 6 艘船。

然而船隊規模無論是單一航線或航網，其船隊部署可有如下不同的運送型態：

(1) 定港往復式 (end to end)



此一運送型態為定期貨櫃船隊最基本的運送方式，即航線中之起始港與終點港為固定的兩端點港，其餘數港則介於此兩港之中，而船舶在兩端點港間依序往復航行。此種運送型態多被應用於區域性的航運市場內，兩端點港通常為最具轉運特色的大港口，而跨區域之貨櫃則在此端點港口進行轉運。一般近洋區域航線多屬此種運送型態。

(2) 鐘擺式 (pendulum)

此種運送型態可說是定港往復式的延伸，即航線中之兩端點港口分別位

於不同的航運市場內。而此種運送型態中，船舶運載貨櫃所選擇的靠港方式，則可為直接運抵或中轉運抵。唯此一運送型態之航程通常較長，常見的鐘擺式航線為美西/遠東/歐洲，其中以遠東地區作為擺幅的最低點。

(3) 多航段迴圈式 (multi-trade cycle)

此種運送型態是由多個航段組成一循環式的迴圈，其可包含近洋區域性定港往復式的運送型態與跨洲、越洋的鐘擺式運送型態。

(4) 棋盤式 (global-network)



此種運送型態的產生主要是因為傳統東西向的主幹航線競爭激烈，而大型航商為了開拓市場與提供更密集的服務航線，因此於東西向主幹線上又另行開闢出新的南北向市場，藉以形成東西、南北垂直相交的棋盤網狀服務航線來滿足託運人或受貨人，以提高服務航線的競爭力。在這種運送型態裡，東西向航線與南北向航線的交集港口通常為具有轉運功能的大型港口。

3.3.2 船期(Scheduling)

目前較具規模之航商，通常至少會在較熱門航線提供週班輪(weekly service)來服務顧客。全球頂尖的國際航商甚至會在一級戰區，例如遠東/西北歐或遠東/美國東西岸，提供一週數班(Loop1，Loop2，Loop3…)航次的服務。一般航商的船期廣告會刊登在船報、航貿雜誌或各船公司的網站。

3.3.3 航線選擇(Route selection)

航線選擇包括開闢新航線和舊航線重組。就貨櫃航商所經營航線範圍，依目前市場之定位可以區分為以下四種：



(1) 接駁航線 (Feeder Service)

所謂接駁航線即為非主航線所經過之航線。接駁航線係將非主航線之貨櫃載往主航線所經過港口，或將主航線所經過港口之貨櫃載往非主航線之港口之小範圍區域性航線，又稱子航線，經營該航線之規模可以少至數十標準貨櫃 (Twenty-foot Equivalent Unit; TEU) 多至千餘標準貨櫃。一般經營貨櫃航線皆必須採取定期班輪來服務託運人或受貨人，接駁航線亦不例外，但亦有數量較少貨源不穩定之港口採取不定期航線之經營方式，但這並非航商要積極考慮之主力市場。

接駁航線之經營規模小，所需人力、財力與物力較少，所以經營能力未迨之公司亦只能經營接駁航線。此種單純將子港口之貨櫃載往母港口，或將母港口之貨櫃載往子港口之經營方式一般稱為接駁航線營運。

(2) 近洋航線 (Short-sea Service)

近洋航線之經營範圍係泛指來往於同一洲際間港口之航線，基本上不越大洋之航線均稱為近洋航線，若以洲際來分又可分為東南亞近洋航線、北歐近洋航線、北美洲近洋航線、南美洲近洋航線、澳洲近洋航線、地中海近洋航線與加勒比海近洋航線等。

近洋航線所規劃之泊靠港口多半是貨量較多，港口亦有相當規模的設備，近洋航商不僅要與經營區域相同之其他近洋航商競爭外，尚需面臨遠洋航商及全球航商之競爭壓力。

近洋航商之財力、人力及物力多半皆不及遠洋及服務網遍及全球之大航商，所以在其規劃航線時必須有一套策略以避開或抵擋近洋同業或遠洋大航商之競爭。在分析近洋貨櫃航線規劃之同時，必須了解其規劃或選擇港口或港口序之考慮因素，才能為其規劃一條更好的航線。

(3) 遠洋航線 (Deep-sea Service)

從英文字面即可了解其為橫渡大洋之航線，航程距離遠及耗油量高，故需較大貨櫃承載量之貨櫃船來經營才符合經濟原則，若財力較小，但在大洋兩岸的兩個或少數港口能有充足穩定之大量貨源，亦有可能經營一條遠洋航線，但實務上單一航線之遠洋航商，若沒有其它後盾支援或不繼續擴展新的遠洋航線，長久終究無法與大型遠洋航商或全球航商相抗衡。

遠洋航商除了要與同區域之遠洋航商競爭外，其實最大亦是最耽心的共同對手是服務佳且擁有全球服務網之大航商，所以遠洋航商不但要搶佔近洋航商的市場，亦同時要對抗大型全球航商之競爭。故遠洋航商在貨櫃航線規劃之策略上，除了要與同區域之遠洋航商競爭外，亦同時要與不同區域之遠洋航商聯手合作以對抗擁有全球服務網之大航商。

(4) 全球航線 (Global Services)

全球航線營運即服務航線網偏佈全球之意，亦即全球航線 = 接駁航線 + 近洋航線 + 遠洋航線，其雖然無法壟斷市場，但至少會寡佔市場。目前能夠獨自經營全球性服務之航商有「快桅航運公司(Maersk)」、「地中海航運公司(MSC)」、「長榮海運公司(Evergreen)」及法國CMA-CGM四家航運公司。

3.4 影響航線規劃的因素

3.4.1 成本分析

沒有航商願意規劃虧損之航線，但有時短期之虧損可帶來長期之盈收，當然值得推展。但無論決策為何，成本之分析及收入之估算，是規劃航線及航線決策必要之參考依歸，也是貨櫃航線規劃成敗之關鍵。

成本可分為變動成本及固定成本兩大類。變動成本是貨櫃由承載地運送到目的地所需要支出之費用。而固定成本是航商無論是否承載任何貨櫃都必須支出之費用，所以試算是否經營該航線時皆必須將各項變動成本及固定成本列舉並加以精算，方可求得正確之盈虧估算，以下為各項成本估算時必須納入考量之費用項目：

(一) 變動成本

1. 港口裝卸費用。
2. 佣金支出與代理行費用。
3. 內陸拖車費用。
4. 轉船費用。
5. 貨櫃租賃費。
6. 車架費用。
7. 燃油費用。
8. 港口費用。
9. 運河費用；如果有經過。
10. 貨損理賠費用。
11. 貨物裝卸費。
12. 船員航行津貼。
13. 攬貨佣金。
14. 其他費用。

(二) 固定成本

1. 潤滑油費用、船舶用品、船舶保險、船舶保養修繕與工務什費等。
2. 船員固定薪津、船員保險、船員醫藥費、船員伙食費與船務什費等。
3. 職工薪資費用、資金成本、文具用品費、差旅費、水電費、員工保險費、各項攤銷、伙食費、職工福利、書報雜誌印刷費用、搬運費、資訊費、辦公室租金、稅金與其他管理費等。
4. 船舶折舊與其他設備折舊。

3.4.2 收入之估算



經營一條航線要估算之成本支出項目繁多，但獲得之主要收入項目只有運費，所以規劃航線若不重視市場之需求及變化，而影響了主要之收入來源—「貨源」，運費就會大幅減少，所以廣闢財源相當重要。若將收入加以細分，大概可以歸納為下列四項：

- (一) 運費收入。
- (二) 承載轉船收入。
- (三) 艙位出租收入。
- (四) 其他附加收入：

燃油附加費 (Bunker Additional Factor ; BAF) 、

戰爭附加費 (War Risk Surcharge ; WRS) 、

碼頭作業附加費 (Terminal Handling Charge ; THC) 、
匯率變動附加費 (Currency Adjustment Factor ; CAF) 、
超重附加費 (Over Weight Surcharge ; OWS) 、
危險品附加費 (IMCO Surcharge) 、
旺季附加費 (Peak Season Surcharge ; PSS) 、
巴拿馬運河附加費 (Panama Canal Surcharge ; PCS) 、
港口擁擠附加費 (Port Congestion Surcharge ; PCS) 、
綜合費率上漲附加費 (General Rate Increase ; GRI) 、
日元升值附加費 (Yan Adjustment Surcharge ; YAS) 等。

以上成本及收入估算後即可估算盈虧值，以作為規劃新航線之決策考量。



3.5 小結

本論文從文獻回顧最近二十年的國內外學者相關的海運定期貨櫃輪航線規劃和排程論文和期刊，發現論述都非常精闢細膩、言之成理，但可惜這些理論多半不為實務界航商所採用。經過實際與航商的規劃人員深入訪談後，所得到的結論是那些理論，特別是數學模式，過於艱澀；而且在模式中的許多假設或預設前提多半不符合實務瞬息萬變的海運市場或海上作業。

航商實務航線規劃人員透露：航線規劃的理論和實務無法密切配合的主要原因，在於擁有理論的學者多半不了解實務，所提出之理論在目前階段窒礙難行；而有實務經驗的航線規劃人員多半沒有理論基礎，有的是歲月所累積的航海經驗。再者是這兩類人員不容易有交集和溝通的機會，難以整合，最後只好各唱各的調。

有鑑於理論和實務整合不易，本研究嘗試在下一章「航線規劃之模式構建」提出易於被理論和實務所接受的數學模式，希望能有助於理論和實務的整合。



第四章 航線規劃之模式構建

在第二章文獻回顧中所提到近二十年來對定期船有所研究的國內外學者中，無論其研究主題的主要決策是航線選擇、航段選擇或港口選擇，亦不論其目標式是追求成本極小或利潤極大，可以歸納出整數規劃(IP)是頗常被應用到的求解方法。

4.1 二元整數規劃與分支界限法

分支界限法之另一名稱為「集合分割法」(set partitioning algorithm)，其基本概念為在一個有限的可行解(feasible solution)集合當中，先將可行解集合界限為若干「次可行解」(sub feasible solution)集合；其次再由若干次可行解集合中探尋(fathoming)得一較可行之次可行解集合；再由這個較可行之次可行解集合分支(branching)得若干個「次次可行解集合」(sub sub feasible solution)。如此週而復始列舉，直到最佳解(optimal solution)出現為止。圖 4-1 即為一簡單之分支界限法概念圖。

這個分支界限法應用在整數規劃中即為：在求解過程中，遇到非整數解就界限分割開來；繼續往下探尋整數的可行解。

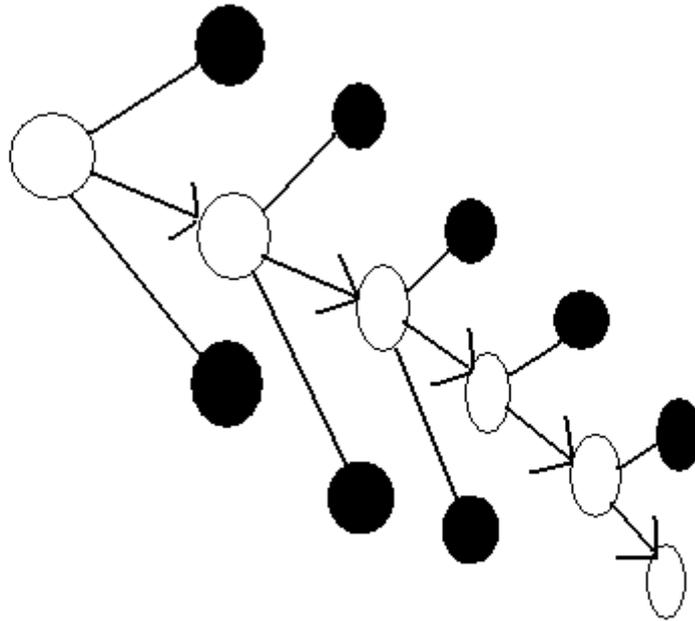


圖 4-1 分支界限法概念圖



二元整數規劃(Binary Integer Programming)又稱「0-1 規劃」。也就是說將可行解集合分割成兩個次集合(或「子集合」)即第一個變數，假設為 x_1 ，分割成 0 和 1 的兩個次集合；再依序分割每一個變數 x_2, x_3, x_4, \dots 成 0 和 1 的次集合；經過多次探尋後即可得到最佳解 $(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots) = (0, 1, 0, 1, \dots)$ [假設解] 且最佳解的值為 Z^* [假設值]。

二元整數規劃的應用概念可參考下圖 4-2。

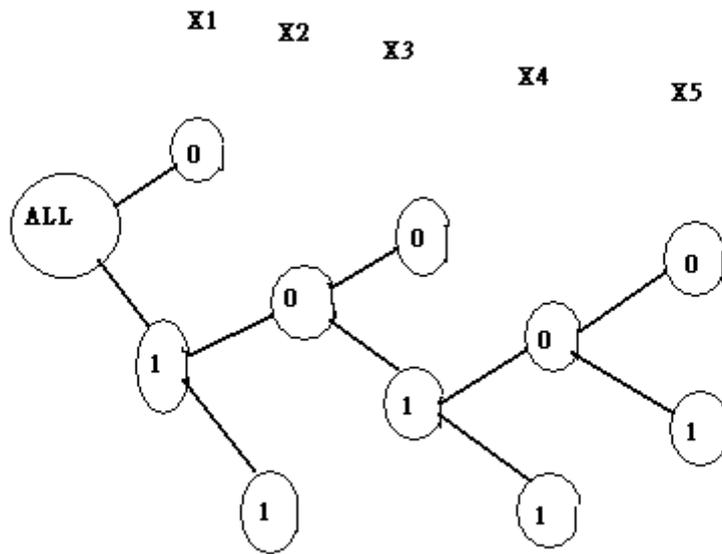


圖 4-2 二元整數規劃的應用概念圖

4.2 二元整數規劃在航線規劃上的應用

把圖 4-2 的觀念應用到實務航運界中即為：決策模式設定為航段 (segment) 選擇或港口選擇；目標式可設定為追求成本極小化或利潤極大化。因為海運市場運價受多種外在因素如油價、戰爭、匯率之波動影響，對收入和利潤之估算不易；為簡化問題，本研究先暫定目標式為追求成本極小化。求解方法就可應用圖 4-2 的概念，利用分支界限法在二元整數規劃的應用，ALL 為所有可能解， x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分別代表單一航線所航行經過的可能港口(候選港口)且 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分別為二元變數(決策變數)，代表 0 或 1。當其中某一港口為 1 時，即代表有被航線

中的母船灣靠；若這一港口為 0 時，即代表沒有被航線中的母船所灣靠，而是用子船或買聯營船艙位或裝載於公共運輸船(feeder)到航線中的適當集貨港(source port)或軸心港(hub port)再裝上母船。

4.3 成本最小化之數學模式構建

4.3.1 基本假設

1. 模式中所設計之單一航線是一條跨區域之遠洋定期貨櫃輪航線，其港口序中之軸心港可兼裝卸區域內集貨港之貨載，如圖 3-2 所示。但集貨港之接駁船舶僅在區域內服務，不可跨區域或越洋。
2. 船舶繞行方式有可能在單一航線中週而復始往返逐港靠泊(如圖 1-1 所示)，也允許因為成本因素而蛙跳過航線中次要、貨量少或碼頭擁塞的港口。
3. 所有起迄港口對間之貨櫃運量為已知且固定。
4. 本模式允許在油價、運價或匯率波動較大時對收入資料掌控不易，航線規劃以追求成本最小化為目標式；若是油價、運價或匯率波動不大，對收入資料掌控容易時，航線規劃則以追求利潤最大化為目標式。
5. 所使用之船舶船型為已知，航速固定。
6. 本模式暫定為單一航商之單一航線，不考慮聯營或艙位互租、互換。
7. 貨櫃計算單位為：TEU.

4.3.2 數學模式

1. 目標函數

$$\text{Min } \sum_{(i,j)} (c_{ij} + \delta_i) x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = 0 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j)} (t_{ij} + k_i) x_{ij} + \beta = T \quad (3)$$

$$\sum_{(o,d)} w^{od} y^{od} \leq U x_{ij} \quad \forall (i,j) \quad (4)$$

$$\sum_j y_{ij}^{od} - \sum_j y_{ji}^{od} = \begin{cases} 1, & \text{if } i=0 \\ 0, & \text{otherwise} \\ -1, & \text{if } i=d \end{cases} \quad \forall i,(o,d) \quad (5)$$

$$\sum_{(i,j)} [(t_{ij} + k_j) y_{ij}^{od} - k_d] \leq \tau^{od} \quad \forall (o,d) \in S \quad (6)$$

$$\beta_L \leq \beta \leq \beta_U \quad (7)$$

$$x_{ij}, y_{ij}^{od} \in \{0,1\} \quad (8)$$

2. 決策變數

y_{ij}^{od} : 在 (i,j) 航段上，是否承載某港口對 (o,d) 之櫃量。若是為 1；否則為 0。

x_{ij} : 船舶是否航經 (i,j) 航段。若是為 1；否則為 0。

β : 航程緩衝時間。

3. 集合及參數

S : 限定運送時間之港口對集合。

τ^{od} : 港口對 (o,d) 之貨櫃運送時間上限, $(o,d) \in S$ 。

w^{od} : 某港口對 (o,d) 之需求櫃量, 以每 TEU ≤ 14 噸計算。

c_{ij} : 船舶航行 (i,j) 航段成本。以巡航之燃油成本為主。

δ_i : 港口 i 之每次靠泊成本。

U : 船舶艙位上限。以每 TEU ≤ 14 噸計算。

t_{ij} : 航行於航段 (i,j) 之時間, 由部署船舶之經濟航速推算。

k_i : 港口 i 之預估靠泊時間。

T : 航線之預估航程時間。在週班輪服務下為 7 天之倍數。



4. 說明

式(1)之目標式以追求成本最小化為目標, 將各航段航行成本及在各港口的靠港成本加以考量。

限制式部份針對定期航線之航程特性, 如循環航程、航程週期等加以限定。並於模式中考慮承載貨櫃數量, 如港口對貨量需求、船舶載運容量限制及特定港口運送時間限制。以下將就詳細內容加以說明:

(1) 船舶流量守恆限制

定期貨櫃輪航線絕大部份具有循環航程之特性, 船舶需遵循到離各靠泊港口。當船舶抵達某一港口裝卸完貨櫃後應從該港離開, 以免船舶於港

口累積之不合理現象。即經營之航段節線具有流量守恆性質，使航線循環不間斷，如式(2)所示。

(2) 航程週期時間限制

定期航線力求服務緊密，每一艘船舶均需盡量在航程週期內完成任務，再開始下一航程，如式(3)所示。另由於航行時間會因各種因素(如天候、碼頭擁塞等)而有所誤差，故於模式中設置正負緩衝時間。

(3) 各營運航段船舶容量承載上限

載運貨櫃數量限制方面，每一船舶均有承載上限，故每一航段艙位配置不得超過該上限，如式(4)所示。



(4) 貨櫃運送路徑限制

以變數 $y_{ij}^{od} \in \{0,1\}$ 表示某起迄港口對 (o,d) 之櫃量是否通過節線 (i,j) ，當行經 j 港時，由於該港不是目的港，櫃位分配必須傳遞到下一航段，所以要求各港口節點進出運送路徑具守恆性質。也就是承載某港口貨櫃流入 j 港口節點之次數等於流出 j 港口節點之次數。另由於同一航次中要求每一航段最多只能靠泊一次，所以當 i 對應於港口對 (o,d) 之起始港 o 時，即 $i=o$ 時，表為 1。當 i 對應於港口對 (o,d) 之目的港 d 時，即 $i=d$ 時，表為 -1。其餘則為 0，如式(5)所示。

(5) 特定港口對運送時間限制

整條航線的運送時間長短關係到航線在市場上的競爭力，因此如(6)式所示，必須對航行時間與港口靠泊時間加以合理限制。

(6) 緩衝時間上下限限制

就實務面而言，緩衝時間具有二種功能，其一是在航線規劃初期時間上的調配，規劃人員向業務人員垂詢貨源所包含的區域、數量和候選港口，並將所有航線之成本效益因素加以考量後開始排程。規劃人員依佈署船型、港口對距離、港口靠泊時間等條件，推算出一個航次所需的大約時間，再除以7天的倍數，若有多餘時間，則將其視為緩衝時間並分配於某些可能發生的情況，如運河航段的航行時間、需求量較多的港口的裝卸時間等來加以調配，使整體作業時間上更具彈性。其二是船舶的船長可利用緩衝時間來調整經濟航速，避免全速航行的危險和油料的浪費。

4.3.3 模式之測試與分析

為驗證模式之可行性及合理性，本節將以假設之數據代入模式中求解，以作為模式應用與測試之基本參考(測試1)。另外在其他的測試當中，將分別設定不同的測試目標，藉由部份參數之調整更動，比較其求解結果與測試1之差異。

1. 簡例概述

在簡例中，假設航商所服務之航線為遠洋定期貨櫃航線，服務範圍內之港口數為 4 個，近端區域市場與遠端區域市場各有 2 個港口。而每個港口均需提供服務，服務的方式可以是主航線直靠或透過接駁航線來轉運。以下茲列點分別說明簡例中之其他假設：

- (1) 實務上，遠洋航線承載之貨櫃多為越洋貨櫃，故在簡例中之起迄港口對的貨櫃運量，暫不考慮區域內之需求。
- (2) 在設計的航線數方面，假設僅能設計一條主航線，而近端和遠端區域內，暫時不考慮接駁航線。
- (3) 遠洋主航線所使用船舶之船舶容量均相同。

總而言之，在簡例中航商希望能在貨櫃需求型態(各起迄港口對之貨櫃需求量)、成本、船舶容量及相關參數為已知的情況下，設計出成本最低的單一航線。

2. 參數設定

簡例所需之相關參數分別說明如下：

- (1) 起迄港口對之貨櫃需求量(O/D pairs demand)

由於近端區域及遠端區域之港口各有 2 個，因此，其間之貨櫃起迄港口對(考慮雙向)共有 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 個。每一個起迄港口對之編號及貨櫃運輸需求量如表 4.1 所示：

表 4.1 各起迄港口對之貨櫃運輸需求量 單位:TEU

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	0	400	500
P2	0	0	300	600
P3	100	200	0	0
P4	300	400	0	0

(2) 各航段油料成本

各航段油料成本假設如表 4.2 所示：

表 4.2 各航段油料成本 單位:美元

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	4,000	48,000	45,000
P2	4,000	0	40,000	39,000
P3	48,000	40,000	0	3,000
P4	45,000	39,000	3,000	0

(3) 各航段基本航行時間

各航段基本航行時間假設如表 4.3 所示：

表 4.3 各航段基本航行時間 單位:日

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	1.5	16	15
P2	1.5	0	13	13
P3	16	13	0	1
P4	15	13	1	0

(4) 港口靠泊基本時間

各港口靠泊基本時間假設如表 4.4 所示：

表 4.4 各港口靠泊基本時間 單位：日

港口	P1	P2	P3	P4
靠泊日數	1	1	1.5	1.5

(5) 港口靠泊費用

港口靠泊費用假設如表 4.5 所示：

表 4.5 各港口靠泊費用 單位：美元

港口	P1	P2	P3	P4
主航線	10,000	12,000	13,000	11,000

(6) 航線之各航段容量

假設航線之各航段容量如表 4.6 所示：

表 4.6 各航段容量 單位：TEU

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	1,000	1,800	1,800
P2	1,000	0	1,800	1,800
P3	1,800	1,800	0	1,100
P4	1,800	1,800	1,100	0

3. 測試結果分析

本小節以 4.3.3 之第 2 小節簡例的參數為基礎，進行測例 1 之運算並藉以說明模式之應用與分析方式，在接下來的 3 個測例中分別就貨櫃運量、運費變動、油價變動等 3 個因素來對模式作敏感度分析。

(1) 測例 1 之結果分析

航線設計模式經窮舉法求解，每一港口至少皆必須灣靠一次，最佳化之目標值為 138,000 美元，最佳港口序為：P1→P2→P3→P4→P1，來回航程共 35.5 天，緩衝時間 0.5 天。為維持週班輪服務，應調派 5 艘 1,800TEU 容量的船舶。其航線設計如圖 4-3 所示：

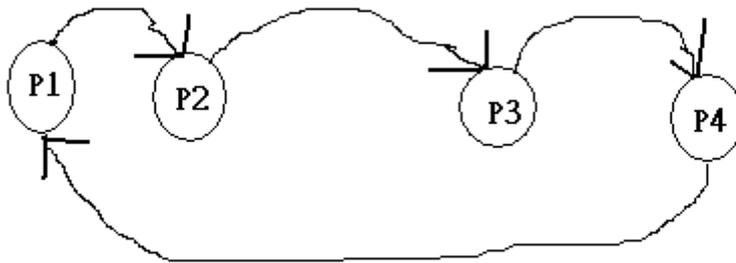


圖 4-3 測例 1 航線設計結果示意圖

(2) 測例 2 之結果分析(貨櫃運量變動)

- a. 如果貨櫃運量比原來的貨櫃運量分別減少 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，所以最佳解與測試 1 的最佳解相同。
- b. 如果貨櫃運量比原來的貨櫃運量分別增加 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，所以最佳

解與測試 1 的最佳解相同。唯各營運航段均有船舶容量承載上限，每一航段原先裝載及所增加之貨櫃運量總和不得超過該上限。

由測例 2 之結果發現，貨櫃運量之變動對模式並不敏感。

(3) 測例 3 之結果分析(運費變動)

- a. 如果貨櫃運費比原來貨櫃運費分別減少 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，所以最佳解與測試 1 的最佳解相同。
- b. 如果貨櫃運費比原來的貨櫃運費分別增加 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，所以最佳解與測試 1 的最佳解相同。



由測例 3 之結果發現，貨櫃運費之變動對模式並不敏感。

(4) 測例 4 之結果分析(油價變動)

- a. 如果油價比原來的油價分別減少 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本有影響但對各港口靠港成本沒有影響，所以最佳解與測試 1 的最佳解不同。

測例 4 最佳化之目標值分別為 92,000 美元、101,200 美元、110,400 美元、119,600 美元、128,800 美元，最佳港口序仍為:P1→P2→P3→P4→P1，來回航程共 35.5 天，緩衝時間 0.5 天。為維持週班輪服務，應派遣 5 艘 1,800TEU 容量的船舶。

也就是說如果油價比原來的油價分別減少 50%、40%、30%、20%、10%，則目標式的成本降低為原來的 66.67%、73.33%、80%、86.67%、93.33%。

- b. 如果油價比原來的油價分別增加 50%、40%、30%、20%、10%，就本模式而言，對油料成本有影響但對各港口靠港成本沒有影響，所以最佳解與測試 1 的最佳解不同。

測例 4 最佳化之目標值分別為 184,000 美元、174,800 美元、165,600 美元、156,400 美元、147,200 美元，最佳港口序仍為：P1→P2→P3→P4→P1，來回航程共 35.5 天，緩衝時間 0.5 天。為維持週班輪服務，應派遣 5 艘 1,800TEU 容量的船舶。

也就是說如果油價比原來的油價分別增加 50%、40%、30%、20%、10%，則目標式的成本增加為原來的 133.33%、126.67%、120%、113.33%、106.67%。



4.4 利潤最大化之數學模式構建

利潤最大化之數學模式與成本最小化之數學模式其實是一體之兩面，只是運費容易受到季節、景氣或政治等因素波動而變化，不容易掌控。而運費收入是整條航線的主要收入來源，如果能夠克服運費不容易掌控問題，掌握到真正的整個航次運費收入，再減去整個航次所有的成本支出，就可以得到真正的利潤，這才是航商所要的。

4.4.1 基本假設

延用 4.3.1 節的基本假設。

4.4.2 數學模式

延用 4.3.2 節的數學模式，僅將目標式稍作修改，如(1')所示：

1. 目標函數

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_{(o,d)} p^{od} - \sum_{(i,j)} (c_{ij} + \delta_i) x_{ij} & (1') \\ \text{Subject to } & \sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = 0 \quad \forall i & (2) \\ & \sum_{(i,j)} (t_{ij} + k_j) x_{ij} + \beta = T & (3) \\ & \sum_{(o,d)} w^{od} y^{od} \leq U x_{ij} \quad \forall (i,j) & (4) \end{aligned}$$

$$\sum_j y_{ij}^{od} - \sum_j y_{ji}^{od} = \begin{cases} 1, & \text{if } i = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \\ -1, & \text{if } i = d \end{cases} \quad \forall i, (o,d) \quad (5)$$

$$\sum_{(i,j)} [(t_{ij} + k_j) y_{ij}^{od}] - k_d \leq \tau^{od} \quad \forall (o,d) \in S \quad (6)$$

$$\beta_L \leq \beta \leq \beta_U \quad (7)$$

$$x_{ij}, y_{ij}^{od} \in \{0,1\} \quad (8)$$

2. 決策變數

y_{ij}^{od} : 在 (i, j) 航段上, 是否承載某港口對 (o, d) 之櫃量。若是為 1; 否則為 0。

x_{ij} : 船舶是否航經 (i, j) 航段。若是為 1; 否則為 0。

β : 航程緩衝時間。

3. 集合及參數

S : 限定運送時間之港口對集合。

τ^{od} : 港口對 (o, d) 之貨櫃運送時間上限, $(o, d) \in S$ 。

W^{od} : 某港口對 (o, d) 之需求櫃量, 以每 TEU ≤ 14 噸計算。

C_{ij} : 船舶航行 (i, j) 航段成本。以巡航之燃油成本為主。

δ_i : 港口 i 之每次靠泊成本。

U : 船舶艙位上限。以每 TEU ≤ 14 噸計算。

t_{ij} : 航行於航段 (i, j) 之時間, 由部署船舶之經濟航速推算。

k_i : 港口 i 之預估靠泊時間。

T : 航線之預估航程時間。在週班輪服務下為 7 天之倍數。

p^{od} : 從起始港 o 到目的港 d 的所有運費收入。

4.4.3 模式之測試與分析

1. 簡例概述 : 同 4.3.3 節。

2. 參數設定 : 沿用 4.3.3 節模式測試之數據, 僅加上運費數據, 如表 4.7

所示：

表 4.7 各航段運費費率表 單位：美元/TEU

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	—	800	850
P2	—	0	750	800
P3	400	350	0	—
P4	450	400	—	0

3. 測試結果分析

本小節亦以 4.3.3 之第 2 小節簡例的參數為基礎，在加上運費費率表(表 4.7)，進行測例 1 之運算並藉以說明模式之應用與分析方式。由表 4.1 和表 4.7 的乘積，可以得到各航段的運費收入，如表 4.8 所示：

表 4.8 各航段之運費收入 單位：美元

起/迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	0	320,000	425,000
P2	0	0	225,000	480,000
P3	40,000	70,000	0	0
P4	135,000	160,000	0	0

在接下來的 3 個測例中分別就貨櫃運量、運費變動、油價變動等 3 個因素來對模式作敏感度分析。

(1) 測例 1' 之結果分析

航線設計模式經窮舉法求解，每一港口至少皆必須灣靠一次，最佳化之目標值為 1,717,000 美元，最佳港口序為:P1→P2→P3→P4→P1，

來回航程共 35.5 天，緩衝時間 0.5 天。為維持週班輪服務，應調派 5 艘 1,800TEU 容量的船舶。其航線設計如圖 4-4 所示：

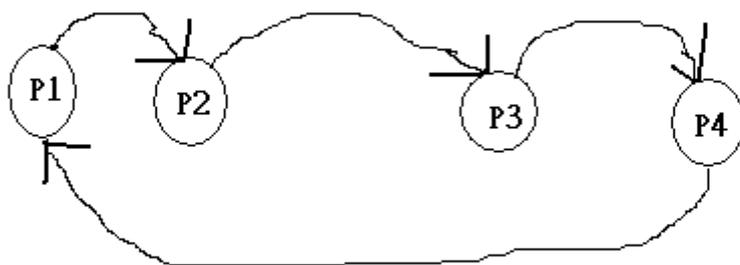


圖 4-4 測例 1' 航線設計結果示意圖

(2) 測例 2' 之結果分析(貨櫃運量變動)

- a. 如果貨櫃運量減少為原來貨櫃運量的 50%、40%、30%、20%、10%，其餘條件不變。就本測例而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，但最佳解的值已改變為 789,500 美元、975,000 美元、1,160,500 美元、1,346,000 美元、1,531,500 美元。也就是說如果貨櫃運量減少為原來的 50%、40%、30%、20%、10%，則整航次的利潤只有測試 1' 的 45.98%、56.78%、67.59%、78.39%、90%。其餘的港口序、來回航程等均與測試 1' 相同。
- b. 如果貨櫃運量比原來的貨櫃運量增加 50%、40%、30%、20%、10%，

其餘條件不變。就本測例而言，在表 4.1 即以假設各起迄港口對之貨櫃運輸需求量就船舶容量而言已經滿載，故本敏感度分析不符合實際需求，在此暫不討論。

(3) 測例 3' 之結果分析(運費費率變動)

- a. 如果貨櫃運費費率減少為原來貨櫃運費費率的 50%、40%、30%、20%、10%，其餘條件不變。就本測例而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，所得到最佳解與測試 2' a. 的最佳解完全相同。
- b. 如果貨櫃運費費率比原來的貨櫃運費費率增加 50%、40%、30%、20%、10%，其餘條件不變。就本測例而言，對油料成本和各港口靠港成本沒有影響，但對總運費收入有影響，最佳解的值已改變為 2,644,500 美元、2,459,000 美元、2,273,500 美元、2,088,000 美元、1,902,500 美元。也就是說如果貨櫃運費費率比原來的增加 50%、40%、30%、20%、10%，則整航次的利潤將為測試 1' 的 154.02%、143.21%、132.41%、121.61%、110.8%。其餘的港口序、來回航程等均與測試 1' 相同。

(4) 測例 4' 之結果分析(油價變動)

- a. 如果油價減少為原來油價的 50%、40%、30%、20%、10%，其餘條件不變。就本測例而言，對油料成本有影響但對各港口靠港成本及運費收入沒有影響，但最佳解的值已改變為 1,763,000 美元、1,753,800 美元、1,744,600 美元、1,735,400 美元、1,726,200 美元。也就是說如果油價減少為原來的 50%、40%、30%、20%、10%，

則整航次的利潤將為測試 1' 的 102.68%、102.14%、101.61%、101.07%、100.54%。其餘的港口序、來回航程等均與測試 1' 相同。

- b. 如果油價比原來的油價增加 50%、40%、30%、20%、10%，其餘條件不變。就本測例而言，對油料成本有影響但對各港口靠港成本及運費收入沒有影響，但最佳解的值已改變為 1,671,000 美元、1,680,200 美元、1,689,400 美元、1,698,600 美元、1,707,800 美元。也就是說如果油價比原來的增加 50%、40%、30%、20%、10%，則整航次的利潤只有測試 1' 的 97.32%、97.86%、98.39%、98.93%、99.46%。其餘的港口序、來回航程等均與測試 1' 相同。

4.5 小結



透過 4.3 節及 4.4 節各 4 個測例之運算結果分析，發現在不同成本、貨櫃運量及運費費率參數之設定下，本研究之兩個數學模式(成本最小及利潤最大)均可求得最佳解。且依據模式所選擇之航段均可組成循環性之航線，符合定期航線營運特性。因此，表示本文所構建之模式應用在單一航線規劃應屬可行。就各測例之求解結果，對照該測例之參數，其結果大致上均可反應靠港成本參數、起迄港口對運輸需求量、油料費用變動等因素變化對航線規劃之影響，且其結果均在合理範圍內，足見本文所構建之定期貨櫃航線規劃模式應屬合理。

第五章 實例解析

為驗證第四章所構建模式之合理性與正確性，本研究選定地中海航運公司的遠東/北美航線(Eagle Service)，依據模式內容所需，蒐集該航線實際相關資料，經基本參數分析後代入模式，利用窮舉法求解(如附錄)。

5.1 個案資料蒐集

本研究個案實例選自地中海航運公司 2009 年 4 月公佈於網站的高雄至洛杉磯航線。所採用參數以該航商所提供於航線規劃期間之資料為基礎，航線結構如圖 1-1 所示。此航線由 5 艘平均 5,000TEU 之全貨櫃輪進行 35 天(840 小時)的週班服務，於一航次中共靠泊 6 個港口。靠泊港口之港口序分別為：高雄(Kaohsiung) → 香港(Hong Kong) → 鹽田(Yantian) → 上海(Shanghai) → 青島(Qingdao) → 洛杉磯(Los Angeles) → 高雄(Kaohsiung)，如表 5.1 所示。

表 5.1 地中海航運公司 2009 年 4 月高雄至洛杉磯船期表



地中海航運(香港)公司 高雄至洛杉磯週班船期表

	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯	高雄
SOFIE MAERSK 輪 0906	-	-	-	-	-	-	07.04
AP MOLLER 輪 0906	-	-	-	-	-	-	14.04
CMA CGM FORCE 輪 YZ099E	-	-	-	-	-	-	21.04
COLOMBINE MAERSK 輪 0906	-	-	-	-	-	11.04	28.04
ALBERT MAERSK 輪 0908	-	-	-	-	07.04	18.04	05.05
SOFIE MAERSK 輪 0908	07.04	08.04	10.04	12.04	14.04	25.04	12.05
AP MOLLER 輪 0908	14.04	15.04	17.04	19.04	21.04	02.05	19.05

1. 靠港成本與靠港時間

一般而言，各港口的靠港成本會依船舶噸位大小、進出港時間及其他相關因素等而收取不同費用。在此所指的靠港成本為航商所提供，再依據港口序中各港口的實際港口費率表推估而得，如表 5.2 所示。

表 5.2 地中海航運公司 2009 年遠東至北美靠泊港口費用及靠泊時間表

港口序：	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
靠泊港口費用(USD):	13,500	8,000	12,000	12,000	12,000	15,000
靠泊港口時間(小時)	18	16	18	20	16	30

資料來源:航商提供，本研究整理推估。



2. 航行時間

各港口間的航行時間受經濟船速、天候狀況等所影響，較難以正確估算每一航段的實際航行時間，本模式對航行時間的預估採船期表上的航段港口對間的起始港與目的港的時間差減去起迄港靠港時間作為該航段的航行時間。如表 5.3 所示。

表 5.3 各航段之航行時間

單位:小時

起/迄	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
高雄	--	20	54	101	319	408
香港	20	--	31	78	128	385
鹽田	54	54	--	29	79	336
上海	101	78	29	--	30	287
青島	319	128	79	30	--	241
洛杉磯	408	385	336	287	241	--

資料來源:本研究整理推估。

3. 航行成本

航行成本主要是油耗成本，據航商企劃人員告知:一艘 5,000TEU 船舶以 21 節航速航行 1 天(以油價每桶 100 美元計算)約為 25,732 美元，本研究由表 5.3 進而推算出各航段之航行成本，如表 5.4 所示。

表 5.4 各航段之航行成本

單位:美元

起/迄	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
高雄	--	25,732	33,732	123,732	155,897	414,289
香港	25,732	--	8,000	98,000	130,165	388,557
鹽田	33,732	8,000	--	90,000	122,165	380,557
上海	123,732	98,000	90,000	--	32,165	290,557
青島	155,897	130,165	122,165	32,165	--	258,392
洛杉磯	414,289	388,557	380,557	290,557	258,392	--

資料來源:本研究整理推估。

4. 各航段之運費費率

航商提供之各航段費率表，如表 5.5 所示：

表 5.5 各航段費率表 單位：美元/TEU

起/迄	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
高雄	--	0	0	0	0	800
香港	0	--	0	0	0	800
鹽田	0	0	--	0	0	900
上海	0	0	0	--	0	900
青島	0	0	0	0	--	900
洛杉磯	400	400	400	400	400	--

註：運費為 0 者，代表該航段不收貨載。

5. 起迄港口載運需求櫃量

各起迄港口載運櫃量需求會因景氣、季節或政治等因素而有所變動，表 5.6 為航商所提供。由各起迄港口對的載運需求櫃量可得知該航線應該要派遣 5000TEU 容量的船舶。

表 5.6 各起迄港口載運需求櫃量 單位：TEU

起/迄	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
高雄	--	0	0	0	0	800
香港	0	--	0	0	0	1,200
鹽田	0	0	--	0	0	1,000
上海	0	0	0	--	0	1,200
青島	0	0	0	0	--	800
洛杉磯	400	300	600	1,000	200	--

資料來源：航商提供，本研究整理推估。

5.2 航線成本最小化模式之實例測試

依第四章 4.3 節數學模式，將本章 5.1 節之各參數資料代入該模式，以窮舉法求解，可得最佳解之目標值為：901,078 美元。每一港口至少皆必須灣靠一次，最佳港口序為：高雄→香港→鹽田→上海→青島→洛杉磯→高雄，來回航程共 36.54 天，緩衝時間 1.54 天。為維持週班輪服務，應調派 5 艘 5,000TEU 容量的船舶。其航線設計如圖 5-1 所示：

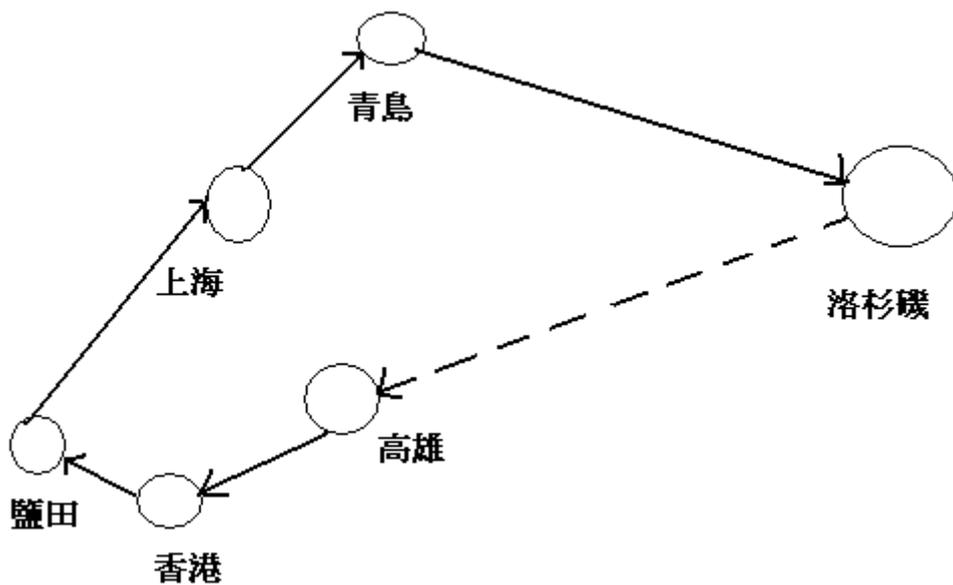


圖 5-1 航商航線規劃實例測試示意圖

5.3 航線利潤最大化模式之實例測試

本節接續 5.2 節的參數，再整合表 5.5 和表 5.6 而得到各航段運費收入表，如表 5.7 所示：

表 5.7 各航段運費收入表 單位:美元

起/迄	高雄	香港	鹽田	上海	青島	洛杉磯
高雄	--	0	0	0	0	640,000
香港	0	--	0	0	0	960,000
鹽田	0	0	--	0	0	900,000
上海	0	0	0	--	0	1,080,000
青島	0	0	0	0	--	720,000
洛杉磯	160,000	120,000	240,000	400,000	80,000	--

資料來源：航商提供，本研究整理推估。

將表 5.7 的數據綜合 5.1 節的個案資料，代入 4.4 節的數學模式以窮舉法求解，可得最佳解：目標值為：4,398,922 美元，每一港口至少皆必須灣靠一次，最佳港口序為：高雄→香港→鹽田→上海→青島→洛杉磯→高雄，來回航程共 36.54 天，緩衝時間 1.54 天。為維持週班輪服務，應調派 5 艘 5,000TEU 容量的船舶。其航線設計同圖 5-1 所示。

5.4 小結

本章主要在進行航線設計之實例問題分析，一方面透過與實務情況之比較，了解本模式應用於實例問題求解之適用性；另一方面則透過實例之求解與分析，提供航商未來在模式應用與問題分析上之參考。



第六章 結論與建議

6.1 結論

經前述各章節之分析，本論文可獲得如下結論：

1. 遠洋線定期航商在實務航線規劃作業時所考慮的因素繁多，除了定期航線的循環服務、船舶容量、貨櫃流通等特性外，更重要的是要將市場競爭要素納入航線規劃中。有了自由競爭市場的大前提，航商以獲利為依歸，才會重視航線經營成本，追求經營最佳化。航線規劃的舊思維以有經驗的企劃人員或退休船長、大副等土法煉鋼規劃或重組航線，難免掛萬漏一，恐不足以應付競爭日益激烈的海運市場。新的科學應用工具和數學模式的引進，對航線規劃的助益是有目共睹的，也是時代的潮流。
2. 本研究的數學規劃模式採用二元整數規劃法並利用窮舉法求解，有效避免航商在航線規劃時因存在過多候選港口，而造成求解上的困擾和運算時間的冗長。規劃人員在安排港口序時，只要依第三章的航線規劃實務先設定港口序的每個目標候選港口，按照各航段候選港口的貨源多寡，即可代入第四章的目標式求得最佳港口序。

採用二元整數規劃法所求出的單一航線最佳港口序，正是進一步航網規劃的基礎。

3. 在模式之測試與分析方面，本研究以假設性資料套入模式，進行遠洋定期貨櫃航運之航線規劃。文中共設計 8 種模式測試與分析之範例以及就貨櫃運量變動、運費費率變動、油價變動進行敏感度分析，以測試不同參數之變化對設計結果之影響。而其求解結果，證實本模式均可順利運作求得最佳解且符合實務，而各測例之結果與敏感度分析亦可提供航商在實務應用時之參考。
4. 在實例解析部分，本研究以國外 M 航商之遠東至北美航線為例進行航線規劃，並與 M 航商之實際航線比較，其結果與該航商之航線規劃相近，顯示本研究模式之規劃結果在實務應用上應具可行性。



6.2 建議

1. 在第五章的實例解析中，本研究為避免數學模式的參數過多，造成求解複雜，在套用 4.3 節和 4.4 節的數學模式時並未將「空櫃不平衡」因素列入考慮。然而在實務航線規劃時，空櫃不平衡和運送問題是非常重要的，這也就是在 5.1 節中遠東/美西航線中為何東向航程中每一 TEU 運價高達 900 美元，而回程的西向航線只有 400 美元。航商的策略乃是藉低運價多承攬貨物，順道把空櫃送到出口量大的遠東港口。運價雖低，但總比直接把空櫃運送到遠東的損失少。所以，航商在規劃和經營航線時，對空櫃不平衡的要素一定要慎重處理。

2. 在競爭激烈和瞬息萬變的海運市場，遠洋航線經營的新思維不能以目前的成就為滿足。必須再佈局航網，才能在運量達經濟規模時，真正的做到經營最佳化。

既然走向航網是遠洋航商經營航線必定要有的長期策略，則航商在實務規劃單一航線時，除了航線的利潤和成本外，必須注意以下幾點，以為將來的航網形成和經營效率鋪路：

- (1) 港口序中的候選港口不宜過多，以不超過 10 至 15 個之間為宜。
- (2) 一個遠洋完整航次的去回時間或週數不宜過長，以不超過 15 週為宜。
- (3) 一個遠洋完整航程的大迴圈裡面不要有過多的子迴圈。



參考文獻

1. 邱明琦，民國 91 年 6 月，「定期貨櫃航線網路設計模式之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所博士論文。
2. 邱明琦、陳春益、林佐鼎（91.09），海運貨櫃排程模式之研究，運輸計劃季刊第三十一期第三卷，頁 495-522。
3. 林佐鼎、陳春益、楊士毅、邱明琦（91.09），航線聯營對定期貨櫃航線泊靠港之影響分析，航運季刊，第十一期第三卷，頁85-102。
4. 廖于慧、盧華安、曹壽民、廖國勛（93.09），定期貨櫃航線之船期安排，運輸學刊，第十六期第三卷，頁203-226。
5. 盧華安（91.03），定期貨櫃航線設計之研究，運輸計劃季刊，第三十一期第一卷，頁121-142。
6. 盧華安（92.09），遠洋定期航線排程與貨櫃調度模式之研究，運輸計劃季刊，第三十二期第三卷，頁 423-445。
7. 盧華安、徐育彰（90.09），定期貨櫃航線選擇與船隊部署之研究，運輸計劃季刊，第三十期第三卷，頁 577-601。
8. 丁士展，民國 92 年 7 月，「定期航運航線與收益管理之研究」，國立交通大學交通運輸研究所博士論文。
9. 顏上堯、藍世宗（92.03），定期貨櫃船舶航線規劃模式與求解演算法之研究，運輸計劃季刊，第三十二期第一卷，頁47-73。

10. 張斐茹，民國 88 年 6 月，「軸輻路網在國際定期貨櫃船航線之應用」，國立交通大學運輸工程與管理系碩士論文。
11. 謝尚行、張斐茹（90.12），軸輻路網模式在定期貨櫃船定線之應用，運輸計劃季刊，第三十期第四卷，頁 871-890。
12. 許巧鶯、彭美珠（92.12），海運公司之複合快速運送營運策略分析，運輸計劃季刊，第三十二期第四卷，頁 715-744。
13. 許巧鶯、謝幼屏（94.06），海運定期貨櫃航線之船型與頻次決策研究，運輸計劃季刊，第三十四期第二卷，頁 211-241。
14. 陳力民，民國 94 年 6 月，「運用數學模式於貨櫃航線規劃應考量要素之研究」，國立台灣海洋大學商船學系碩士論文。
15. 黃玉惠，民國 93 年 6 月，「定期航線港埠排程規劃之研究」，國立臺灣海洋大學導航與通訊學系碩士論文。
16. 游至誠，民國 90 年 6 月，「允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸輻路網模式」，國立交通大學運輸工程與管理系碩士論文。
17. 謝景昌，民國 91 年 6 月，「定期貨櫃船靠泊港口決策模式探討」，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文。
18. 張正宜，民國 96 年 1 月，「臺灣地區規劃闢建洲際貨櫃中心深水碼頭最佳化港口選擇」，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文。
19. 張永昌、陳春益，民國 83 年 12 月，「選擇定期貨櫃航線泊靠港之研究」，中華民國運輸學會第九屆學術論文研討會論文集，頁 309-316。

20. 許志成，民國 87 年，「定期貨櫃船舶排程計劃研究」，國立中央大學土木研究所碩士論文。
21. 郭塗城、朱經武，民國 89 年 10 月，「定期船停靠港口決策模式探討」，中華民國第五屆運輸路網研討會論文集，頁 317 - 326。
22. 謝尚行、王賢倫、宋文俊，民國 91 年 12 月，「以利潤最大化為目標之貨櫃船對定線模式」，中華民國運輸學會第十七屆學術論文研討會論文集，頁 95 - 104。
23. 盧華安、李永苓，民國 91 年 12 月，「定期航商共同派船聯營航線規劃模式之初探」，國立台灣海洋大學海運學院海運學報，第十一期，頁 41 - 56。
24. Agarwal, R., Ergun, O. B. (2008), Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping, *Journal of the Transportation Science*, Vol. 42, No. 2, pp. 175-196。
25. Bronmo, G., Christiansen, M., Nygreen, B. (2007), Ship routing and scheduling with flexible cargo sizes, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, No. 9, pp. 1167-1177。
26. Cho, S. C. and Perakis, A. N. (1996), "Optimal liner fleet routing strategies," *Maritime Policy and Management*, Vol. 23, No. 3, pp. 249-259。
27. Christiansen, M., Fagerholt, K., Ronen, D. (2004), Ship routing and scheduling: Status and perspectives, *Journal of the Transportation Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-18。

28. Christiansen, M. (1999), "Decomposition of a Combined Inventory and Time Contained Ship Routing Problem," *Transportation Science*, Vol. 33, pp. 3-16.
29. Fagerholt, K. (1999), Optimal fleet design in a ship routing problem. *Internat. Trans. Oper. Res.* 6(5) 453-464.
30. Fagerholt, K., Lindstad, H. (2000), "Optimal Policies for Maintaining a Supply Service in the Norwegian Sea," *OMEGA* 28 269-275.
31. Lu, Hua-An, (2002), "Modelling Ship's Routing Bounded by the Cycle Time for Marine Liner," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.10 No.1, pp. 61-67.
32. O' Kelly, Morton E. (1987), "A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research*, Vol. 32, pp. 393-404.
33. Ronen, D. (1983), "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 12, pp. 119-126.
34. Perakis, A. N. (2002), "Fleet Operations Optimization and Fleet Deployment," Costas Th. Grammenos, ed. *The handbook of Maritime Economics and Business*, Lloyds of London Publications, London, U. K., 580-597.

35. Rana, K. and Vickson, R. G. (1988), "A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of a Time-chartered Containership," *Transportation Science*, Vol. 22, pp. 83-95.
36. Robinson, R. (1998), "Asian Hub/feeder Nets: the Dynamics of Restructuring," *Maritime Policy and Management*, Vol. 25, No. 1, pp. 21-40.
37. Rana, K., Vickson, R. G. (1991), "Routing Container Ships Using Lagrangean Relaxation and Decomposition," *Transportation Science*, Vol. 25, No. 3, pp. 201-214.
38. Vis, I. F. A., R. de Koster. (2003), "Transshipment of Containers at a Container Terminal: An Overview," *European Journal of Operation Research*, Vol. 147, pp. 1-16.



附錄：窮舉法演算資料

港口代號說明：

Khh：高雄

HK：香港

Yan：鹽田

Sha：上海

Qdo：青島

LA：洛杉磯

一、5.2 航線成本最小化模式之實例測試演算過程

航線排程	目標值(美元)
1. Khh→HK→Yan→Sha→Qdo→LA	901,078 **
2. Khh→HK→Yan→Qdo→Sha→LA	965,408
3. Khh→HK→Qdo→Sha→Yan→LA	1,145,408
4. Khh→HK→Qdo→Yan→Sha→LA	1,145,408
5. Khh→HK→Sha→Yan→Qdo→LA	1,081,078
6. Khh→HK→Sha→Qdo→Yan→LA	1,145,408
7. Khh→Yan→HK→Sha→Qdo→LA	917,078
8. Khh→Yan→HK→Qdo→Sha→LA	981,408
9. Khh→Yan→Sha→Qdo→HK→LA	1,161,408
10. Khh→Yan→Sha→HK→Qdo→LA	1,097,078

11. Khh→Yan→Qdo→Sha→HK→LA	1, 161, 408
12. Khh→Yan→Qdo→HK→Sha→LA	1, 161, 408
13. Khh→Sha→Qdo→Yan→HK→LA	1, 161, 408
14. Khh→Sha→Qdo→HK→Yan→LA	1, 161, 408
15. Khh→Sha→HK→Yan→Qdo→LA	1, 097, 078
16. Khh→Sha→HK→Qdo→Yan→LA	1, 341, 408
17. Khh→Sha→Yan→HK→Qdo→LA	1, 097, 078
18. Khh→Sha→Yan→Qdo→HK→LA	1, 341, 408
19. Khh→Qdo→Sha→HK→Yan→LA	1, 161, 408
20. Khh→Qdo→Sha→Yan→HK→LA	1, 161, 408
21. Khh→Qdo→HK→Sha→Yan→LA	1, 341, 408
22. Khh→Qdo→HK→Yan→Sha→LA	1, 161, 408
23. Khh→Qdo→Yan→HK→Sha→LA	1, 161, 408
24. Khh→Qdo→Yan→Sha→HK→LA	1, 341, 408

由窮舉法可知該航線總共六個港口(高雄為起始港，洛杉磯為目的港)的港口序排列共有 24 種航線排程。將 5.1 節的各港口靠港成本和各航段的燃油成本分別代入各種不同航線排程，即可知上述第一種航線(打**者)排程的目標值為最佳解，符合成本最小化的模式。

二、5.3 航線利潤最大化模式之實例測試

將 5.1 節的運費收入(5,300,000 美元)代入上述各種不同航線排程，分別扣掉靠港成本和燃油成本即得到利潤，如下列各不同航線排程所示：

航線排程

目標值(美元)

航線排程	目標值(美元)
1. Khh→HK→Yan→Sha→Qdo→LA	4, 398, 922 ***
2. Khh→HK→Yan→Qdo→Sha→LA	4, 334, 592
3. Khh→HK→Qdo→Sha→Yan→LA	4, 154, 592
4. Khh→HK→Qdo→Yan→Sha→LA	4, 154, 592
5. Khh→HK→Sha→Yan→Qdo→LA	4, 218, 922
6. Khh→HK→Sha→Qdo→Yan→LA	4, 154, 592
7. Khh→Yan→HK→Sha→Qdo→LA	4, 382, 922
8. Khh→Yan→HK→Qdo→Sha→LA	4, 318, 592
9. Khh→Yan→Sha→Qdo→HK→LA	4, 138, 592
10. Khh→Yan→Sha→HK→Qdo→LA	4, 202, 922
11. Khh→Yan→Qdo→Sha→HK→LA	4, 138, 592
12. Khh→Yan→Qdo→HK→Sha→LA	4, 138, 592
13. Khh→Sha→Qdo→Yan→HK→LA	4, 138, 592
14. Khh→Sha→Qdo→HK→Yan→LA	4, 138, 592
15. Khh→Sha→HK→Yan→Qdo→LA	4, 202, 922
16. Khh→Sha→HK→Qdo→Yan→LA	3, 958, 592
17. Khh→Sha→Yan→HK→Qdo→LA	4, 202, 922
18. Khh→Sha→Yan→Qdo→HK→LA	3, 958, 592
19. Khh→Qdo→Sha→HK→Yan→LA	4, 138, 592
20. Khh→Qdo→Sha→Yan→HK→LA	4, 138, 592
21. Khh→Qdo→HK→Sha→Yan→LA	3, 958, 592

22. Khh→Qdo→HK→Yan→Sha→LA	4, 138, 592
23. Khh→Qdo→Yan→HK→Sha→LA	4, 138, 592
24. Khh→Qdo→Yan→Sha→HK→LA	3, 958, 592

由窮舉法排列可知該航線之上述第一種航線(打***者)排程的目標值為最佳解，符合利潤最大化的模式。

